

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA  
Y GEOGRÁFICA**

**E.A.P. DE INGENIERÍA DE MINAS**

**“Diseño y aplicación del dispositivo lanzador de  
bala explosiva para desatorar chimeneas de gran  
longitud, caso mina Huanzala”**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas**

**AUTOR**

**Luis Alberto Arce Gonzales**

**Lima – Perú**

**2014**

A Dios.

A Luz Gonzales mi querida Madre.

A mi recordado Padre,

Y demás seres queridos.

## AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a la empresa Minera Santa Luisa, en especial al Ingeniero Carlos Alvarado, por el apoyo en esta investigación, de igual manera al Ingeniero Luis Carbajal, gerente de operaciones de la empresa especializada COMINCO SAC, un agradecimiento a toda la guardia “Artillera”, que no escatimo en trabajar tiempo extra en la construcción, prueba y uso del **“dispositivo lanzador de bala explosiva”**, entre ellos al Charapa, Galáctico, Carpesa, chiguahua, Marquiño y al ingeniero mecánico Henry Espinoza y a todas las personas que anónimamente apoyaron para que este proyecto funcione durante las pruebas en la Unidad minera Huanzala.

*“Cuando se desarrolla algo nuevo en minería, el primer obstáculo que se encuentra es el temor a lo nuevo de parte de quienes tienen la capacidad de decisión; sin embargo cuando la innovación demuestra ser más efectiva y segura que todo lo ya conocido, todos los esfuerzos realizados se ven compensados al ser partícipe del sentimiento de satisfacción por un nuevo aporte.”*

L. Arce



## **RESUMEN**

El presente trabajo consiste en el desarrollo de una alternativa de solución viable, económica y segura para el desatoro de chimeneas de gran longitud en la Empresa Minera Santa Luisa, Unidad Huanzala, teniéndose como objetivo desatorar la chimenea C-200, donde inicialmente se probó el método.

El desarrollo de la investigación se inicia con un análisis de las distintas formas de construir chimeneas, destacando aquellas que se hacen en la minería mecanizada, es decir las que se construyen con equipos Raise Borer, debido a que el problema en estudio se da en este tipo de labores. Se hace un estudio de los factores que generan los atoros en chimeneas, agregando además un breve análisis desde el punto de vista mecánico del porque se dan estos sucesos, haciendo referencia a estudios especializados de silos de granos en la industria de alimentos que tienen un comportamiento similar.

Se presenta los distintos métodos tradicionales y empíricos de desatorar chimeneas, luego se procede a explicar el nuevo método de descampaneo, las características técnicas del dispositivo creado y el sustento de cómo funciona, y la aplicación del método.

Se presenta además un análisis de los costos comparativos entre los distintos métodos utilizados para realizar desatoro de chimeneas, recalcando el grado de exposición del personal y los riesgos inherentes.

Finalmente se expone las ventajas y limitaciones del método, sustentado en experiencias adquiridas en el desatoro de otras chimeneas.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
 <b>CAPÍTULO I    GENERALIDADES</b>	
 1.1    Ubicación Mina Huanzala	3
1.2    Acceso	3
1.3    Geología Local	4
1.4    Geología Regional	6
1.5    Geología estructural	7
1.6    Mineralización	8
 <b>CAPÍTULO II   DISEÑO DE INVESTIGACION</b>	
 2.1    Antecedentes	9
2.2    Objetivos Generales y Específicos	10
2.3    Metodología	11
2.4    Planteamiento del Problema	11
2.5    Hipótesis	12
2.6    Marco Teórico	12
2.6.1    Características de los medios granulares	12
2.6.2    Fracción de compactación	12
2.6.3    Numero de coordinación y cadenas de fuerza	14

2.6.4	El efecto Janssen	17
2.6.5	Segregación	18
2.6.6	Formación de arcos	18

### **CAPITULO III ESTUDIO DE CHIMENEAS EN GENERAL**

3.1	Chimeneas en Minas Subterránea	20
3.1.1	Métodos de construcción de chimeneas	21
3.1.1.1	Construcción de Chimeneas Convencionales	21
3.1.1.2	Método del cuele de barrenos vacíos	25
3.1.1.3	Método del cuele Cráter	25
3.1.1.4	Método-"VCR"	26
3.1.1.5	Método combinado	26
3.1.1.6	Chimeneas construidas con equipos de minado continuo	
	Raise Borer	27
3.1.1.7	Características del sistema Raise Borer	27
3.1.1.8	Principios de excavación del sistema Raise Borer	28
3.1.1.9	Sondeo Piloto	29
3.1.1.10	Aplicaciones de la técnica Raise Borer	29
3.2	Causas de atoros en chimenea que sirven de echaderos	32
3.2.1	Compactación de la carga, debido a reducido diámetro de la chimenea	32
3.2.2	Atoros generados por la compactación de Finos en las Paredes de la Chimenea	33
3.2.3	<i>Generación de atoros por colapso de las cajas</i>	34
3.2.4	Generación de atoros por presencia de cavidades Cársticas y/o drusas en la periferia de la Chimenea	35

3.2.5	Atoros por presencia de “carga dormida”	35
3.2.6	Atoros por mínima granulometría del material circulante	35
3.2.7	Atoros por presencia de materiales extraños en la carga circulante	35
3.3	Atoros de chimeneas de gran longitud Raise Borer en La mina Huanzala	36
3.3.1	Atoro de la chimenea RB C – 200 Unidad Huanzala	36
3.3.2	Atoro en la chimenea 1350 Unidad Pallca	37
3.3.3	Atoros en la chimenea 4730 Unidad Pallca	38
3.4	Métodos Utilizados para Desatorar Chimeneas	39
3.4.1	Plasteo de la carga desde la cabeza de la chimenea	39
3.4.2	Utilización de tubo de fierro tipo lápiz	40
3.4.3	Empleo de equipos de perforación vertical (Simba)	41
3.4.4	Extracción de la carga con baldes	43
3.4.5	Utilización de listones de madera con carga Explosiva en la punta	44
3.4.6	Utilización de tubería de PVC de 4 a 6 pulgas con carga explosiva	45
3.4.7	Utilización de globos de Helio llevando carga explosiva	46
3.4.8	Utilización del dispositivo Spoutnik	47
3.4.9	Perforación de taladros diamantinos direccionados Hacia el punto de atoro	48
3.4.10	Construcción de una chimenea menor paralela a la principal, con puntos de Observación (subnivel)	49

## **CAPÍTULO IV DISEÑO DEL NUEVO METODO DE DESCAMPANEO DE CHIMENEAS DE GRAN LONGITUD CASO MINA HUANZALA**

4.1	Descripción del método	51
4.1.1	El dispositivo Lanzador de Bala explosiva	51
4.1.2	Construcción final del dispositivo lanzador de bala explosiva	55
4.1.3	La Carga Explosiva Impulsora	56
4.1.4	Diseño y Construcción de la bala explosiva	59
4.1.5	El explosivo de la Bala	61
4.1.6	Accesorios de Voladura utilizados con el método del Dispositivo lanzador de bala explosiva	62
4.1.7	Procedimiento Operativo	64
4.1.7.1	Preparación de la carga de la bala explosiva	64
4.1.7.2	Preparación de la carga impulsora	64
4.1.7.3	Carguío del cañón	65
4.1.7.4	Posicionamiento del Dispositivo Lanzador de Bala Explosiva	65
4.1.8	Resultados	66
4.1.9	Trabajo de desatoro en la chimenea 1350 Unidad Pallca	66
4.1.10	Trabajo de desatoro en la chimenea 4740 Unidad Pallca	67
4.1.11	Resultados de los trabajos de desatoros chimenea 4740 Unidad Pallca	67
4.2	Características técnicas de los elementos del método	68
4.2.1	Dimensiones y Peso del dispositivo lanzador	68
4.2.2	Dimensión y Peso de la bala Explosiva	70
4.2.3	Peso del explosivo de la bala	70
4.2.4	Densidad de la carga impulsora (ci)	71
4.2.5	Parámetros Termoquímicos del Explosivo Utilizado en el Método	72
4.2.5.1	Presión de detonación	72

4.2.5.2	Presión de explosión	74
4.2.5.3	Presión de Taladro o de Trabajo	74
4.2.5.4	Calor de Explosión	75
4.2.5.5	Volumen de Explosión	79
4.2.5.6	Energía Mínima disponible	80
4.2.6	Calculo de la resistencia del material del Dispositivo	
	Lanzador de bala explosiva	81
4.2.6.1	Tubo sometido solamente a presión interna ( $P_i$ )	81
4.2.6.2	Tensión Tangencial	82
4.2.6.3	Tensión radial	83
4.2.6.4	Calculo del espesor del tubo	84
4.2.6.5	Factor de seguridad	85
4.3	Evaluación comparativa	86
4.3.1	Plasteo de la carga desde la cabeza de la chimenea	86
4.3.2	Utilización de tubo de fierro tipo lápiz	87
4.3.3	Empleo de equipos de perforación vertical (Simba)	88
4.3.4	Extracción de la carga con baldes	90
4.3.5	Utilización de listones de madera con carga explosiva	
	En la punta	91
4.3.6	Utilización de tubería de PVC de 4 a 6 pulgadas	
	Con carga explosiva	92
4.3.7	Utilización de globos de Helio llevando carga explosiva	94
4.3.8	Utilización del dispositivo Spounitk	95
4.3.9	Perforación de taladros diamantinos direccionados	
	Hacia el punto de atoro	96
4.3.10	Construcción de una chimenea menor paralela a la	
	Principal, con puntos de observación (subniveles)	98
4.3.11	Nuevo método de descampaneo de Chimeneas	
	De gran longitud	99
4.4	Ventajas y desventajas del uso del nuevo método de desatoro	
	De Chimeneas de gran longitud	101

4.4.1	Desatoro de chimeneas con carga gruesa (Experiencia en mina Huanzala)	102
4.4.2	Desatoro de chimeneas con carga muy fina (Experiencia en mina Pallca)	103

## **CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones	105
5.2	Recomendaciones	106

<b>Bibliografia</b>	107
---------------------	-----

<b>Anexos</b>	109
---------------	-----

ANEXO 1:	Disposicion de la carga , perforacion y voladura de un taladro metodo VCR	110
ANEXO 2:	Maquina Raise Borer Robbins	111
ANEXO 3:	Maquina raise Borer robbins modelo 34 RH	112
ANEXO 4:	Maquina Raise Borer Atlas Copco – Robbins 73 RH	113
ANEXO 5:	Maquina Raise Borer Robbins 91 RH C	114
ANEXO 6:	Elementos de perforacion de maquinas Raise Borer	115
ANEXO 7:	Bosquejo dela cosntruccion del lanzador de bala explosiva	116
ANEXO 8:	Propiedades y tratamiento de partículas sólidas - La Ecuación de Janssen	117
ANEXO 9:	Tubería de Pared Gruesa	120
ANEXO 10:	Propiedades Mecánicas de algunas Aleaciones de hierro Y acero	131
ANEXO 11:	Pets de Operación “descampaneo de Chimeneas RB utilizando Dispositivo lanzador de bala explosiva	132
ANEXO 12:	Materiales producto del desatoro de la chimenea C- 200 Unidad Huanzala	135
ANEXO 13:	Fotografía de participación de trabajadores en pruebas de Descampaneo de la chimenea C - 200	136
ANEXO 14.	PLANOS	138
	PLANO 1: Unidad Huanzala- chimenea C – 200	139
	PLANO 2: Chimenea 4740 culebra Minas Unidad Pallca	140
	PLANO 3: Chimenea 1350 Unidad Pallca	141





## INTRODUCCION

En minería mecanizada, las labores verticales (chimeneas) para uso de ore pass o de ventilación, son construidas utilizando máquinas de minado continuo conocidas como Raise Borer, y son de grandes longitudes. Los problemas de atoro que suceden en estas construcciones generan retrasos en la operación y representan un grave peligro para los trabajadores que se dedican a solucionar dichos atoros.

Los métodos empleados en el desatoro de chimeneas en la minería subterránea son de alto riesgo, muy empíricos y en algunos casos intrépidos y fuera de cualquier estándar. El presente trabajo hace un estudio de cada uno de los métodos empleados, buscando enfatizar el grado de riesgo, el costo económico y la aplicabilidad en cada caso, además se buscó generar una nueva alternativa de desatoro para chimeneas de grandes longitudes.

Frente al problema de atoro, que se presentaba en la unidad Huanzala y ante la inoperancia de los métodos conocidos, se diseña un nuevo método, mucho más efectivo, para desatorar chimeneas Raise Borer, para ello se hace una aplicación práctica de algunos conceptos básicos de artillería, de características modificadas de los explosivos usados en minería, lográndose con ello plasmar un dispositivo lanzador de bala explosiva, la bala en sí y un explosivo modificado como impulsador. El funcionamiento del nuevo método de desatoro de chimeneas, es un aporte que permite solucionar este problema común que se presenta en minería.

El presente estudio hace un breve enfoque a la forma como se construyen las chimeneas, luego un análisis del comportamiento de un medio granular al cual pertenece el material roto o fragmentado que se desplaza por estas labores verticales, los problemas de atoros, las alternativas de solución muy usadas, para luego explicar detalladamente el nuevo método de desatoro de chimeneas utilizando el dispositivo lanzador

de bala explosiva, en el cual se especifica las características técnicas , los cálculos de las propiedades del explosivo que se modificó y el factor de seguridad que presenta el dispositivo lanzador de bala explosiva desde el punto de vista Resistencia del material empleado .

Se hace una comparación, del costo aproximado, el tiempo de exposición y porque el nuevo método en cuestión es el más indicado para su aplicación en problemas similares, finalmente manifestar su alcance y restricciones.

## **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

### **1.1 – Ubicación Mina Huanzala**

La mina Huanzala está ubicada en el centro del Perú, al sureste de la cordillera de Huayhuash, a unos 80 km. al SE de la ciudad de Huaraz y 250 km. al norte de Lima; entre los 3900 4500 m.s.n.m. Políticamente Huanzala pertenece al distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi y departamento de Ancash; a una distancia de 8 Km en línea recta al NO del pueblo de Huallanca.

La mina Huanzala pertenece a la Compañía Minera Santa Luisa S.A. cuyos propietarios son Mitsui Mining & Smelting Co. Ltd. (70%) y Mitsui & Co Ltd. (30%); ambas son compañías japonesas. (Ver gráfico 1)

La mina se halla entre la prolongación de la cordillera Blanca y la cordillera de Huayhuash, al sur del cerro de Huanzala y al N.E de un valle glacial por donde discurre el Río Torres; a una altitud entre 3 800 y 4 300 m.s.n.m.

Las coordenadas geográficas del campamento son:

090 52´ 04 ´´ Latitud Sur.

760 59´50´´ Longitud Oeste.

Altitud promedio 3,900 m.s.n.m.

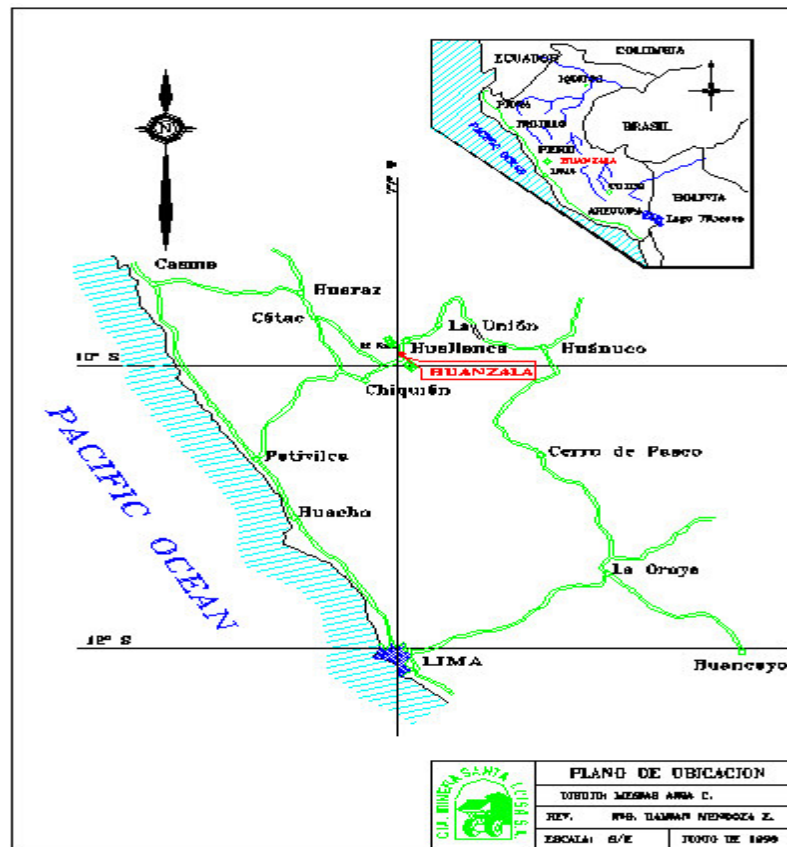
### **1.2 – Acceso**

El acceso a la mina desde la ciudad de Lima es a través de la carretera Panamericana Norte hasta Pativilca, utilizando luego la carretera a Antamina hasta el Km 75 con un tramo total hasta la mina desde Lima de 420 kilómetros.

Desde Lima se tiene 2 accesos:

Lima –Pativilca-Conococha-Chiquián-Huanzalá 510 Km.

Lima – Pativilca – Catac- Huanzalá 490 Km.



*Figura No 1. Mapa de Ubicación*

### 1.3 – Geología local

La formación Santa está constituida por dos miembros: El miembro superior de un espesor de 120 metros, compuestas por Calizas con intercalaciones de Lutitas y el miembro inferior con un espesor de 40 metros compuestas de Areniscas, Lutitas, Calcarenitas y capas delgadas de Calizas, la estratificación presenta un rumbo de N30° - 50° W y un buzamiento de 50° a 70° NE con presencia de ritmitas (singenético).

Algunas Lutitas del miembro superior de la Formación Santa nos sirven como capas guías para poder diferenciar 4 horizontes principales de mineralización (Veta 1 a Veta 4).

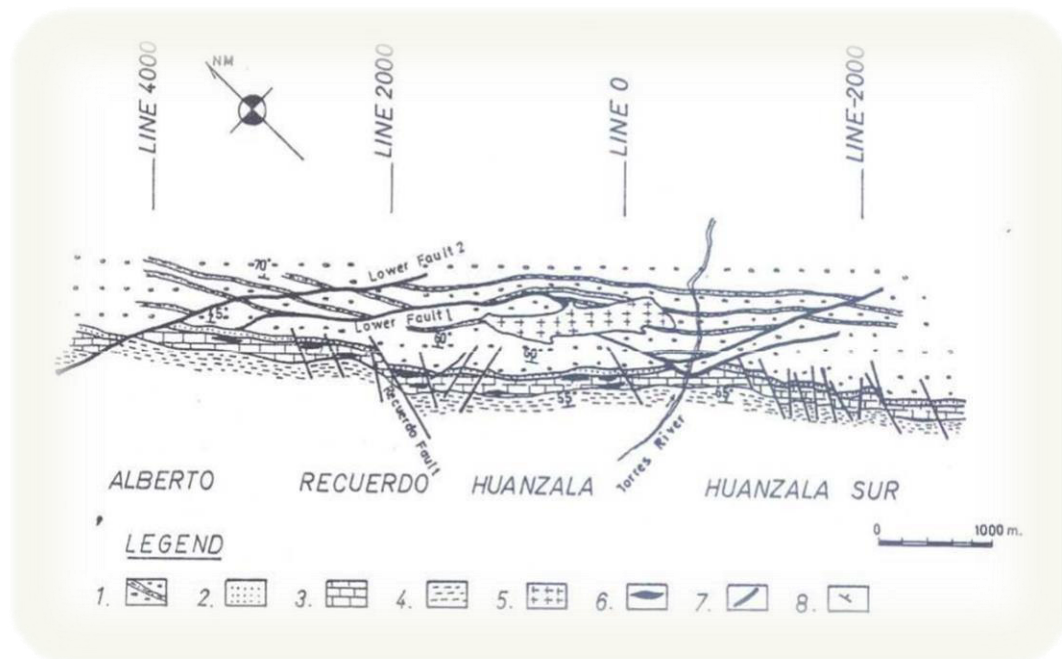
Existen dos sistemas de falla de desplazamiento de rumbo N 10° a 20° E y otro de N 70° a 80° E.

Se tiene una falla de empuje conocida como la “Lower Fault” inversa, con otras fallas paralelas menores de Huanzala Sur disminuyendo hacia Recuerdo, las que tienen una buena influencia en la concentración de la mineralización económica ya que han servido de conductos y a la vez de entrapamiento de la misma.

El Pórfido Cuarcífero al parecer intruye a la formación Chimú a manera de un Lacolito y en la formación Santa está a manera de Diques y Sills relativamente o paralelo a la estratificación.

El stock tiene una forma elipsoidal con aproximadamente 2 km de longitud y 200 m de ancho, los diques Sills tienen anchos variables que oscilan entre 2 m a 50 m, con una exposición total de aproximadamente 6 km (Epigenético).

Al parecer el pórfido Cuarcífero es posterior al cizallamiento habiendo cortado y/o intruido sobre las fallas. Se considera para la Génesis del yacimiento de Huanzala que fue producto de una Piritización y Skarnización con un proceso de reemplazamiento en horizontes calcáreos favorables (Formación Santa) relacionado a una Granodiorita en profundidad cuya manifestación extrusiva es el pórfido cuarcífero relacionado a Diques y Sills del mismo (Carrascal, R.; Saez, J.; Soler, P )



**Figura No 2.** Mapa Geológico de la mina Huanzala (After Saito et al. 1981). 1 Lutitas (Formación Chimú); 2 Areniscas (Formación Santa inferior); 3 Calizas (Formación Santa Superior); 4 lutitas y cuarcitas (Formación Carhuaz); 5 Pórfido Granodiorítico (Mioceno); 6 Lentas mineralizados; 7 Falla; 8 Buzamiento (Carrascal y Sáez, 1990).

## 1.4 – Geología Regional

En la mina Huanzala sobreyacen concordantemente las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat y Parianca del Jurásico Superior – Cretáceo Inferior (Grupo Goyllarisguizga) principalmente las 3 primeras formaciones se ubican en el flanco invertido de un sinclinal volcado, de tal manera que dichas formaciones suprayacen de las más recientes a la más antigua, interrumpidas luego por un Pórfido Cuarzífero como una manifestación intrusiva de una Granodiorita (Ígnea) en profundidad data del Pleistoceno (Stewart y otros 1974).

Los cuerpos de mineral de Zn, Pb, Ag, y Cu se presentan en forma estratiforme, lenticular interdigitada y masiva irregular en las 5 vetas (Veta 1, 2, 3 y 4 en la formación Santa) y la Veta 5 en la Formación Carhuaz de rumbo N 30° - 50° W y buzamiento entre 50° a 70° NE, con anchos variables entre 2 m y 20 m (Vetas 5 y V1T respectivamente) con longitudes de hasta 300 metros.

Se tienen 3 zonas de operación, de NW a SE, la zona de Carlos Alberto (A), luego la de Recuerdo y Huanzala Superior (B) y finalmente la de Huanzala Principal

– Huanzalá Sur (C) apreciándose cavidades de disolución en caliza (Karst/Paleo Karst y Neo Karst) con áreas de Enriquecimiento Superior génico (lixiviación de aguas meteóricas en descenso y aguas magmáticas en ascenso – combinación de las mismas - convección). Sobre esta base la concurrencia de los minerales de Pb y Zn, se han dividido en tres tipos:

Minerales de Pb y Zn en Pirita.

Minerales de Pb y Zn en Skarn.

Minerales de Pb y Zn en Shiroji (alteración Argilica).

El mineral de tipo Shiroji es un producto de alteración hidrotermal de minerales de pirita y Skarn.

### **1.5 – Geología Estructural**

Existen 2 sistemas de fallas de desplazamiento de rumbo de N 10° a 20° E y otro de N 70° a 80 ° E. se tiene una falla de empuje conocida como la “Lower Fault” inversa, con otras fallas paralelas menores de Huanzalá Sur disminuyendo hacia Recuervo las que tienen una buena influencia en la concentración de la mineralización económica ya que han servido de conductos y a la vez de entrapamiento de la misma.

El pórfido Cuarcífero al parecer intruye a la Formación Chimú a manera de un Lacolito y en la formación Santa está presente a manera de Diques y Sills relativamente o paralelos a la estratificación.

El stock tiene una formación elipsoidal con aproximadamente 2 Km de longitud y 200 m de ancho, los diques Sills tienen anchos variables que oscilan entre 2 m y 50 m, con una exposición total de aproximadamente 6 Km. (Epigenético).

Al parecer Pórfido Cuarcífero es posterior al calamiento habiendo cortado y/o instruido sobre las fallas. Se considera para la Génesis del yacimiento de Huanzalá que fue producto de una Piritización y Skarnización con un proceso de reemplazamiento hidrotermal ocasionando una reemovilización con un posterior substitución de iones metálicos con el

consecuente reemplazamiento en horizontes calcáreos favorables (Formación Santa) relacionado a una Granodiorita en profundidad cuya manifestación intrusiva es el Pórfido Cuarcífero relacionado a diques y Sills del mismo (no se incluyen el carácter sin genético con el Epigenetico).

## **1.6 – Mineralización**

La mineralización se emplaza en una longitud reconocida de 6.2 km en las calizas de la Formación Santa (Superior – Inferior) de aproximadamente 160 m de potencia y en la base de las limo – arcillas y areniscas de la Formación Carhuaz con un encampame de 560 m distribuida en 12 niveles con intervalos de 40 a 60 ms y un nivel inferior de 60 m por debajo del Rio Torres (Nivel R) la Piritización casi simultánea de la intrusión del Pórfido Cuarcífero Skarnización y mineralización de Esfalerita roja. Mineralización de Galena seguida por minerales de Cu (Calcopirita). Alteración de tipo Shiroji y mineralización de Esfalerita Negra.

Mineralización de Bornita con Calcopirita. Mineralización de Tennantita. Aunque el modelo no es muy simple la distribución zonal de los elementos y minerales están relacionados a una secuencia paragenética la cual se manifiesta claramente en el yacimiento.



## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DE INVESTIGACION**

#### **2.1- Antecedentes**

Los atoros de chimeneas en minería subterránea son frecuentes sin embargo, existe poca literatura en el medio que trate específicamente este tema. La solución de atoros de chimeneas se hace utilizando algunas prácticas muy empíricas y de alto riesgo, teniéndose solo dos metodologías más técnicas y seguras de todas ellas pero son muy costosas.

Los métodos conocidos son: Utilización de plastas explosivas en la cabeza de la carga atorada, uso de tubo en forma de lápiz de 3.00 a 4.00 metros de longitud, el cual es clavado en la cabeza de la carga y luego cargado con explosivos, utilización de globos inflados con helio el cual hace ascender una pequeña carga explosiva que debe explotar en la base de la carga atorada. También se tiene desatoro utilizando listones de madera hasta una altura de 20.00 m limpieza de la carga desde la cabeza de la chimenea utilizando un trabajador y baldes izados con polea, utilización de un dispositivo activado con aire comprimido denominado Spounitk y finalmente la construcción de una labor aledaña a la chimenea atorada. Estos dos últimos métodos son los más recomendados pero son de gran costo.

Se presenta una alternativa a este problema el cual constituye este trabajo de investigación desarrollado por el autor que fue presentado en el 8vo Congreso Nacional de Minería realizado en Trujillo el año 2010, este trabajo se expuso con el título **“Nuevo Método de descampaneo de**

**chimeneas de gran Longitud**”, fue presentado como alternativa de solución a los atoros de chimeneas, este método consiste en la utilización de un ingenioso artefacto denominado “dispositivo lanzador de bala explosiva” que consta de un cañón construido de tubos de fierro que sirve como lanzador de una bala construida de tubo de diámetro 6 centímetros y longitud 0.65 m llena de explosivo (Anfo) activada con un cebo y un fanel con retardo adecuado, que al ser lanzado desde el pie de la chimenea hacia la carga golpea a la base del atoro por la explosión de la bala.

El dispositivo lanzador de bala explosiva se aplicó en la mina Santa Luisa Unidad Huanzala, con resultados positivos en la chimenea C-200, Nivel P – 100 Huanzala Principal y además se utilizó en las chimeneas 4740 y 1350 en la Unidad Pallca.

## **2.2 – Objetivo general y Especifico**

El objetivo general es Desatorar la chimenea Raise Borer C – 200 en La Mina Huanzala, perteneciente a la Compañía Minera Santa Luisa

Se tiene los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar y construir un Dispositivo Lanzador de bala Explosiva, que permita desatorar la chimenea C - 200.
2. Construir Una bala que lleve suficiente explosivo, que al detonar logre desatorar el campaneio de la chimenea C – 200
3. Obtener Una mezcla explosiva con Anfo, para ser usado como carga impulsora de la bala , sin que destruya al dispositivo lanzador
4. Lograr establecer un nuevo método de desatoro de chimenea de gran longitud, basado en la experiencia Mina Huanzala.

## **2.3 - Metodología**

La metodología del trabajo consiste, en la observación, la descripción y el análisis de los distintos problemas que generan los atoros de las chimeneas y en los métodos que se usan a la fecha para darle solución, luego se procederá al diseño de un nuevo método, presentándose los fundamentos en que se basa este nuevo diseño, seguidamente este se somete a las pruebas de campo, finalmente una vez que se han hechos las pruebas se pasara a la aplicación del método para el problema planteado, logrado este objetivo se evalúa y se presenta como una nueva alternativa de solución a los problemas de atoros de chimeneas de gran longitud en la minería subterránea a nivel nacional.

Es conveniente realizar este estudio, porque los problemas de atoros de chimeneas de gran longitud son frecuentes y solucionar esto reducirá las pérdidas económicas y vidas humanas en las empresas mineras a nivel nacional.

La aplicación del dispositivo lanzador de bala explosiva en chimeneas de gran longitud es viable y más aún adquiere interés porque en la actualidad minera no existe algo similar que cumpla con características tan importantes como: seguridad, sencillez y economía.

## **2.4 –Planteamiento del problema**

¿La aplicación del dispositivo Lanzador de bala explosiva logra desatorar chimeneas de gran longitud?

El presente estudio hace una investigación de las causas de los atoros en chimeneas de gran longitud, y presenta como alternativa el dispositivo lanzador de bala explosiva, para solucionar este problema.

## **2.5 - HIPOTESIS**

La aplicación del dispositivo lanzador de bala explosiva produce el desatoro de chimeneas de gran longitud en la Compañía minera Santa Luisa.

## **2.6 – Marco Teórico**

### **2.6.1 - Características de los medios granulares**

Un medio granular es el conjunto de partículas similares entre sí, el tamaño de partículas que conforman este medio pueden abarcar varios ordenes de magnitud desde el milímetro hasta el metro, aquellas partículas menores de 0,3 mm se les llama polvos y tienen propiedades específicas las más notables provienen del hecho de que algunas fuerzas de contacto (debidas por ejemplo a la humedad o a la carga electrostática) comienzan a ser de magnitud comparable al peso de los granos. Por eso, muchos polvos tienen un comportamiento gobernado por fuerzas cohesivas.

En el límite superior no se considera como un “medio granular” ningún sistema de partículas cuyo tamaño supera varios metros, debido que es difícil estudiar sus características en forma colectivas.

### **2.6.2 – Fracción de compactación**

Al considerar un medio granular, es necesario tener en cuenta tanto las partículas como los espacios que existen entre ellas. En general aun estando sometidas a la acción de la gravedad, las partículas se agrupan dejando espacios entre sí.

Por ello un medio granular siempre ocupa un volumen superior al que le correspondería si lo calculáramos multiplicando el número de partículas

por el volumen de cada una de ellas. El parámetro que indica la relación entre el volumen correspondiente a la masa de partículas  $V_r$  (volumen real de los granos) y su Volumen aparente  $V_a$  (volumen incluyendo los huecos) se denomina fracción de compactación  $\emptyset = V_r/V_a$

La fracción de compactación siempre toma un valor menor que uno, siendo tanto más próximo a la unidad cuanto más empaquetadas estén las partículas. En el caso de un gas granular donde el volumen ocupado por las partículas es pequeño respecto al del recipiente el valor de  $\emptyset$  está cerca de cero.

La fracción de empaquetamiento más alta que se puede obtener es aproximadamente 0.74 cuando se utilizan partículas esféricas ordenadas en laboratorio; sin embargo el máximo empaquetamiento al azar llega a solo 0.64, el cual es el límite máximo de empaquetamiento, teniéndose un mínimo cercano de 0.52. Mucho depende de la forma de la partícula en la fracción de empaquetamiento.

La fracción de compactación también depende del modo en el que se depositan los granos. Si se hace rápidamente a los granos no les da tiempo a ordenarse, se forman gran cantidad de **arcos** que dejan espacios en su interior y como resultado la fracción de compactación es baja.

Al contrario si se depositan lentamente, el modo más lento consiste en añadir un grano cuando el anterior ya se ha estabilizado, los granos se ordenan, los arcos que se forman constan a lo sumo de una partícula y la fracción de compactación es elevada.

El cambio en el valor de la fracción de compactación es el origen de un sorprendente fenómeno que se da en los medios granulares, formulado en el principio de dilatación de Reynolds ***“un medio granular altamente compactado en el interior de un envoltorio flexible incrementa su volumen cuando el envoltorio es deformado”***.

Si el envoltorio es inextensible pero deformable, la configuración del medio granular no se puede deformar a no ser que se rompa el envoltorio o se fracture el medio granular". Dicho de otro modo, al ejercer presión sobre un medio granular, este se puede dilatar disminuyendo así la fracción de compactación.

En el caso específico de una chimenea esta no es deformable por la presión de la carga dentro de ella, además, cuando se vierte el material granulado desde el collar es imposible hacerlo de tal manera que esta caiga lentamente, debido a que las partículas que la componen siendo heterogéneas y teniendo una caída libre se aceleran de acuerdo a la altura de la chimenea de modo que la fracción de compactación en este medio será elevada y los arcos que puedan formarse solo se verán reforzados sus puntos de apoyo .

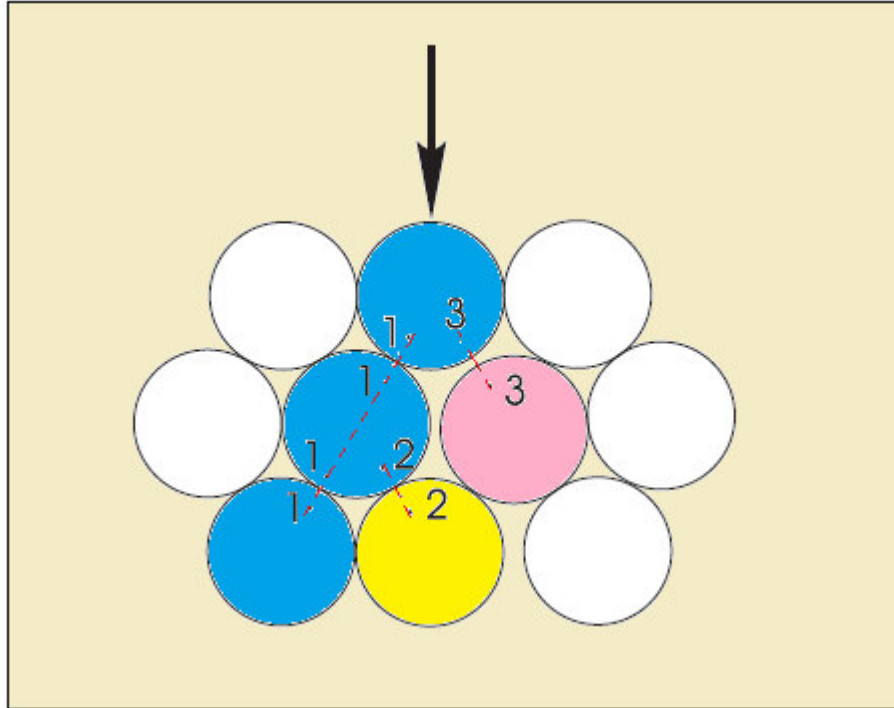
Podría suceder que las grandes alturas de caídas del material granulado en una chimenea incrementen en un instante la presión en su base y luego se disipe esta energía, debido a la inflexibilidad de las paredes de la chimenea sin embargo, si hubiere una compuerta de madera o plancha delgada esta se vería afectada al grado de deformarla.

### **2.6.3 - Numero de coordinación y cadenas de fuerza**

El número de coordinación de una partícula es el número de contactos con otras vecinas. Para una configuración dada, el número de coordinación medio es una propiedad estadística que refleja el número medio de contactos de todos los granos.

El principal problema para establecer una relación entre la fracción de compactación ( $\phi$ ) y el número de coordinación, estriba en la dificultad de realizar experimentos de los cuales se puedan extraer datos fiables respecto al número de contactos. Además, se debe tener en cuenta que no

todos los contactos son iguales. Así, pueden distinguirse tres tipos de contactos entre los granos: (Grafico 3)



**Figura No 3-** *Diferentes tipos de contactos entre los granos de un medio granular, la flecha indica la posición donde se aplica la fuerza y los números indican el tipo de contacto entre las partículas; 1- Contactos activos, 2 – Contactos geométricos y 3 – contactos a presión (tomada de sables, poudres et grains Jacques Duran 1997)*

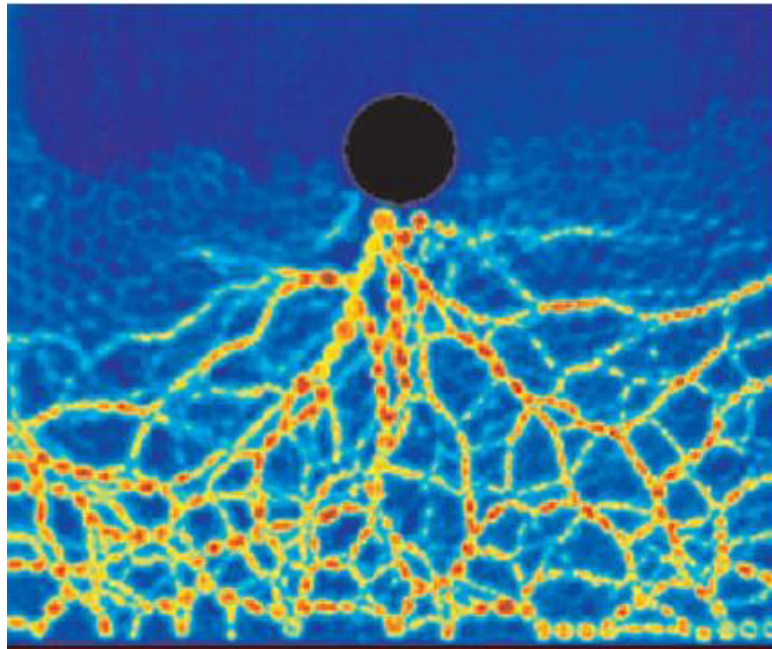
**Contacto Tipo 1 o “Contactos Activos”** : Son los contactos que transmiten la Presion en un medio granular.

**Contactos tipo 2 o “Contactos Geometricos”**: son contactoss en los cuales las particulas se tocan pero no transmiten la presion externa.

**Contactos tipo 3 o “Contactos a pression”**: no son contactos a una presion dada; pero pueden llegar a serlo a una presion mayor.

Los diferentes tipos de contactos entre particulas y el hecho de que su empaquetamiento no sea perfecto hacen que una fuerza externa aplicada

sobre un medio granular no se propague homogéneamente en el espacio. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de este fenómeno.



**Figura No 4.-** La fuerza aplicada sobre un medio granular no se propaga homogéneamente, sino a través de cadenas de fuerza. Los colores verdes – amarillo y rojo muestran grados crecientes de presión. En este caso, la fuerza puntual aplicada proviene del impacto de una partícula de gran tamaño y peso. ( Obtenida por Behringer y su grupo [http:// www.phy.duke.edu/research/ltb/lbtgroup.html](http://www.phy.duke.edu/research/ltb/lbtgroup.html))

El principio de Pascal no es válido en los medios granulares. La presión se transmite siguiendo los caminos marcados por las partículas en contacto. Las llamadas **“cadenas de fuerza”** como consecuencia al aplicar una presión vertical ( $P_v$ ) sobre un medio granular se genera una presión horizontal ( $P_h$ ).

En primera aproximación, la presión horizontal generada es proporcional a la presión vertical ejercida:  $P_h = K P_v$ , donde  $K$  es una constante de proporcionalidad que depende de las características del material.

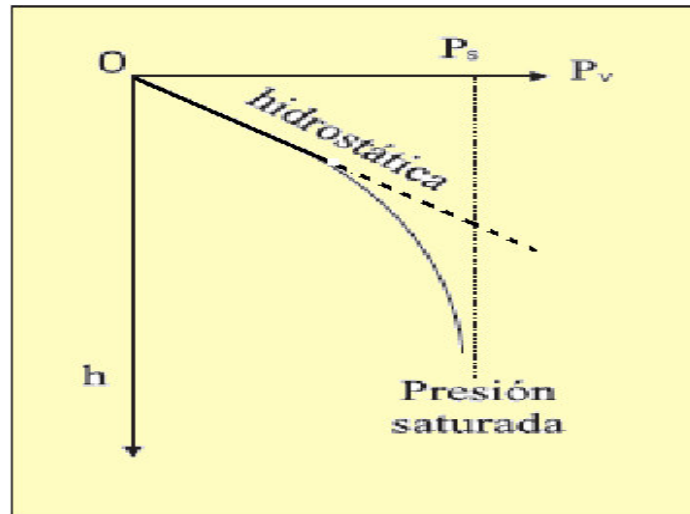
La presencia de cadenas de fuerza provoca que en un medio granular la presión no sea de tipo hidrostático ( como la que corresponde a una columna de líquido).



## 2.6.4 – El Efecto Janssen

El efecto Janssen enuncia esta propiedad de los medios granulares del modo siguiente: **“Un medio granular en el interior de un recipiente ejerce una presión en la base que satura cuando el nivel de las partículas alcanza una determinada altura”**. En la materia granular, al tratarse de un medio discreto, se entiende la presión como la media de la fuerza ejercida por las partículas por unidad de superficie.

La presión dentro de un medio granular contenido en un tubo cilíndrico sigue esta ley: cuando la altura del medio granular  $h$  es pequeña, la presión en la base del cilindro es de tipo hidrostático:  $P_v = \rho_a g h$ , donde  $\rho$  es la densidad aparente del medio granular (Ver Figura No 5). Sin embargo,  $P_v$  satura para  $h$  mayor que  $\phi/4 K \mu_s$ , siendo el valor límite de la presión vertical  $P_s = \rho_a g \phi/4K \mu_s$ , donde  $\phi$  es el diámetro del cilindro,  $K$  la constante de redistribución de fuerzas y  $\mu_s$ , el coeficiente de fricción estático del material granular.



**Grafico 5.-** Dependiendo de la presión vertical en función de la altura de la capa granular. En el eje de las abscisas se representa la presión vertical  $P_v$  y en el eje de las ordenadas la profundidad a la que se mide  $h$ . La línea discontinua vertical representa la presión límite  $P_s$ , y la línea de trazos la presión hidrostática que ejercería un fluido. (Grafico obtenido de Sables, Poudres et grains, Jacques Durand, 1997)

La altura  $h$  para que sature la presión en la base de un recipiente varía entre 1 y 1.5 veces el diámetro del cilindro, dependiendo de las características del material. (Ver detalle de la ecuación de Janssen Anexo 8 “Propiedades y tratamiento de las partículas sólidas”)

### **2.6.5 – Segregación**

En un medio granular compuesto por partículas de diferentes características, se puede dar el fenómeno de la segregación: las partículas inicialmente mezcladas, tienden a agruparse con aquellas que tienen características semejantes, esto sucede cuando están en movimiento.

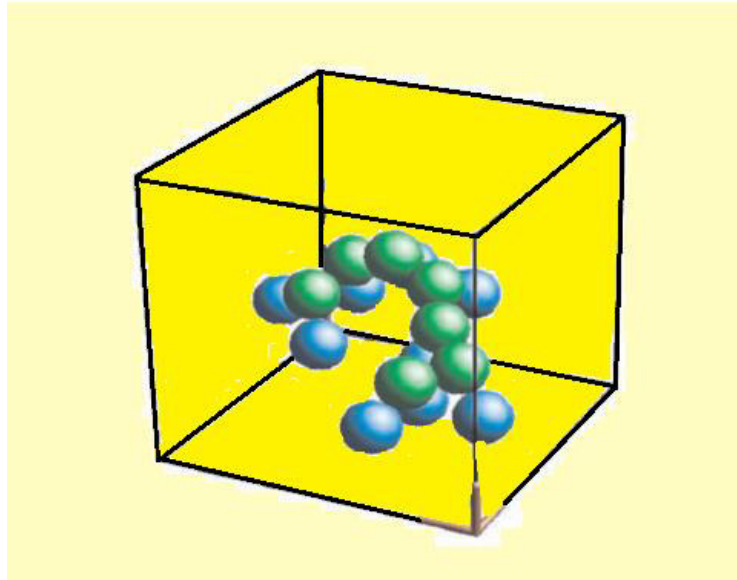
### **2.6.6.- Formación de arcos**

Una de las características inherentes a todo medio granular es su capacidad para formar arcos .también llamados puentes o bóvedas. Se puede definir un arco como un conjunto de partículas estructuradas espacialmente de tal modo que se sostienen entre sí (ver las partículas verdes en la Figura No 6), las partículas que forman un arco se estabilizan mutuamente.

Si uno de los granos es eliminado, la estructura se viene abajo debido a la acción de la gravedad. Además de las partículas que constituyen el puente, existen otras que forman su base. Estas partículas (coloreadas de azul en la figura) son fácilmente identificables ya que sostienen el puente, pero su posición no se vería afectada en el caso de eliminar una de las partículas del arco. Las partículas azules (base del puente) pueden a su vez pertenecer a otro puente.

Los puentes estructuran la configuración del medio granular y son responsables de sus características, la cantidad de arcos y su tamaño influye en la fracción de compactación y en el número de coordinación. Los arcos son también el origen de la falta de regularidad en la propagación de las fuerzas, así como los causantes de uno de los problemas de mayor

importancia en los medios granulares: los atascos cuando fluyen por un orificio. (Zuriguel Ballaz, D. Iker 2005. *Flujo y Atascos de un Medio Granular en la Descarga de Silos.*)



**Figura No 6.-** Ejemplo de puente que puede formarse en el seno del medio granular , las particlass verdes estables entre si.son las que forman el puente propiamente dicho,las esferas azules se consideran las bases del puente al no estar estabilizadas por ninguna de las particulas que lo forman (tomado de I.A Pugnakoni, obtenida en una simulacion numerica)

## **CAPITULO III**

### **ESTUDIO DE CHIMENEAS EN GENERAL**

#### **3.1 – Chimeneas en Minas Subterráneas**

Son construcciones verticales o subverticales diseñadas para traspaso de mineral, ventilación, paso de servicios (agua de bombeo, energía eléctrica, aire comprimido) camino, almacenamiento de mineral, etc.

Las chimeneas en minería subterránea según el uso que se le va a dar tendrán características distintas, en este trabajo que se presenta, se pone mayor énfasis a las chimeneas utilizadas para traspaso de materiales (echaderos).

Los parámetros más importantes en este tipo de chimeneas son:

- Largo de la Chimenea
- Diámetro de la Chimenea
- Angulo de la Chimenea

Longitud de la chimenea es un parámetro muy importante, se requiere calcular el estado de esfuerzos para una cierta geometría de la chimenea, existen soluciones para el caso estático a partir del cual se pueden calcular los esfuerzos y a partir de ellos los requerimientos del sistema de traspaso.

Las características importantes del material que pasa por la chimenea son: **La movilidad de la partícula** la cual está condicionada por su composición, **el tamaño de la partícula**, tal que partículas muy finas tienden a generar cohesión entre ellas disminuyendo la movilidad del conjunto de ellas, **la presencia de agua** aumenta la cohesión y **el ángulo** característico con que fluye cada material.

### **3.1.1 – Métodos de construcción de Chimeneas**

En minería subterránea la construcción de las chimeneas tiene relación con el tamaño de la mina y el uso que se le va a dar a esta labor vertical, por ejemplo en la pequeña minería y mediana minería convencional las chimeneas son construidas con perforadoras neumáticas y secciones cuadradas que varían entre 1.20 m a 2.00 m, estas pueden ser utilizadas como camino o como echaderos en el caso de secciones de 1.20 m, en otras circunstancias tal como en mediana minería convencional se usan chimeneas como echaderos y camino siendo estas por lo general de secciones no menor a los 2.00 m, contando con compartimientos bien definidos.

En minería mecanizada se emplean chimeneas circulares, construidas por equipos de perforación continua denominados Raise Borer.

El empleo de las chimeneas por lo general se resume en dos tipos, chimeneas para ventilación y chimeneas para traspaso de material (sea mineral o desmonte), el presente trabajo se centra en las de traspaso de materiales.

#### **3.1.1.1 - Construcción de Chimeneas convencionales**

**A – Perforación con plataformas de madera:**

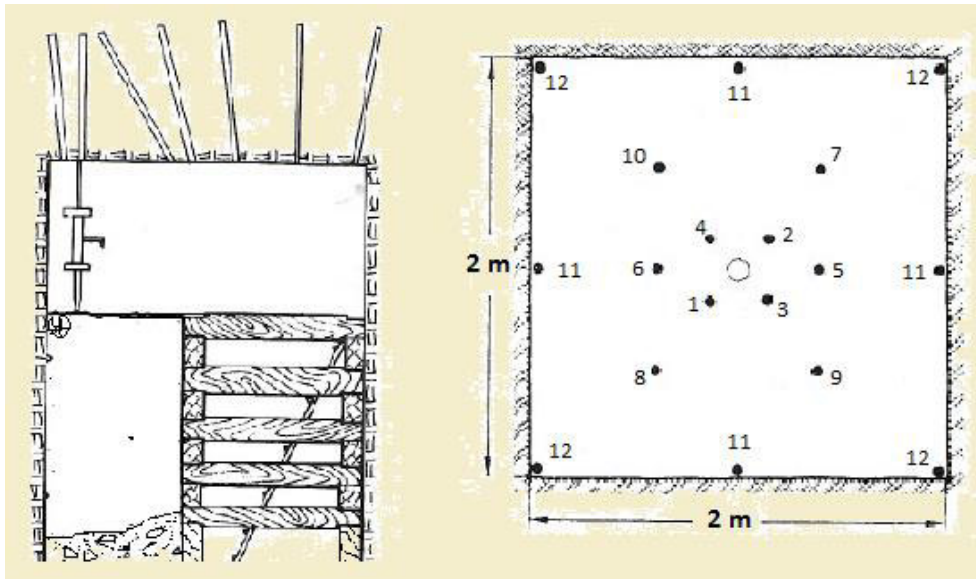
Se aplica en explotaciones pequeñas donde el número de labores a realizar no justifica la inversión en equipos especiales y las chimeneas son de reducida longitud.

El método consiste en ir levantando una estructura interior de madera, simultáneamente al avance de la excavación, de forma que sirva no sólo de sostenimiento sino también de plataforma de trabajo desde la cual se realiza la perforación con máquinas neumáticas. Esas estructuras se construyen con unas pasarelas de servicio como la que se muestra en la Figura 7

Los barrenos se suelen disponer en "V» o en abanico con avances por disparo de 1,2 a 1.5 m y secuencias de encendido como la indicada en la figura 7. Este método resulta competitivo en minas pequeñas, pero las condiciones de trabajo son difíciles y requiere un personal muy experimentado.

La construcción de chimeneas convencionales se hace con máquinas neumáticas, conocidas como stopper, las características del acabado en las paredes son visiblemente rugosas, disparejas, sinuosas, con salientes y algunas veces con sobre rotura en algún lado en su trayecto. (Castañón. C .Y Castells, "Métodos de perforación y voladuras empleados en la mina Rubiales")

Otra característica importante, es el trabajo confinado en la construcción, la mala ventilación y el alto riesgo de caída del personal, además caída de roca, posibilidad de gaseamiento y gran dificultad de auxilio rápido al personal que labora en estas labores en caso de accidente.

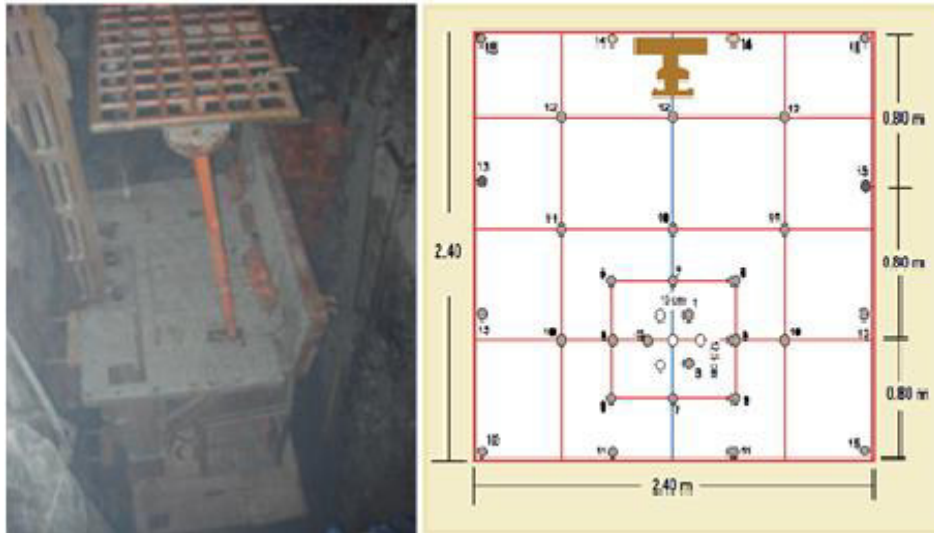


**Figura No 7.-** Lado izquierdo excavación manual de chimeneas, lado derecho diseño de malla de voladura con cuele central de mayor diámetro a los taladros que serán cargados.

#### **B - Perforación con plataforma Alimak**

Consiste en una jaula con plataforma de trabajo que se desliza a lo largo de guías fijadas a la pared de la chimenea. La perforación se realiza mediante perforadoras neumáticas similares a las usadas en el caso anterior (perforadoras Stopper) consiguiéndose avances por disparo de hasta 2.00 m y secciones no menor a 2.40 .0 x 2.40 m.

Una vez efectuado el disparo, se ventila el fondo de la chimenea inyectando aire comprimido y agua pulverizada. A continuación, se sube la plataforma y se procede al saneo del techo (desatado) reiniciándose de nuevo el ciclo de trabajo. (Ver Figura No 8)



**Figura No 8.-** Al lado izquierdo plataforma Alimak típica, con su guarda cabeza, observándose su riel de desplazamiento. Al lado derecho una malla de perforación para una sección de 2.40 x 2.40, el arranque es corte quemado con tres taladros cargados.

Los métodos anteriores presentan los siguientes inconvenientes:

- Se desarrollan con ciclos completos de gran duración: perforación, voladura, ventilación y saneo, y por tanto los rendimientos son bajos debido a los tiempos muertos.
- Requieren mucho personal especializado.
- Las condiciones de seguridad e higiene no son buenas.
- El coste de ejecución es generalmente alto.

Para aliviar estos problemas, en la década de los años 70, se iniciaron diversas experiencias perforando los barrenos en toda la longitud de la chimenea y efectuando después las voladuras por fases mediante cargas colgadas.

Estos métodos exigen gran exactitud de la perforación, lo cual ha llevado a los fabricantes al diseño de equipos y accesorios especiales. Actualmente, las desviaciones pueden mantenerse por debajo de 2% con perforadoras de martillo en cabeza y del 1% con las de martillo en el fondo. (Huamani Huaylla, Kiusa “Construcción de Chimeneas por Método Convencional y Plataforma Alimak en la Mina Raúl)



### **3.1.1.2 - Método del cuele de barrenos vacíos**

Esta técnica, que se desarrolló en el avance de túneles y galerías, fue el que primero se aplicó en chimeneas con barrenos largos. Los barrenos se perforan con equipos de martillo en cabeza con diámetros entre 51 y 75 mm ensanchando los taladros centrales hasta 100 o 200 mm de diámetro (taladro de alivio).

Los barrenos se disponen generalmente en secciones cuadradas que se disparan por fases en tramos de 2 a 4 m., primero la zona del cuele y a continuación las zonas de franqueo, Si bien cuando se puede ejecutar la voladura a plena sección utilizando detonadores de micro retardo en el cuele y de retardo en la destroza, debe evitarse el gran confinamiento de las cargas a fin de que no se produzca la sinterización de la roca.

### **3.1.1.3 - Método del cuele Cráter**

Consiste en abrir una cavidad de aproximadamente 1m<sup>2</sup> con cinco barrenos de diámetros comprendidos entre 65 y 102 mm colocando las cargas de explosivo para que trabajen en forma de voladura en cráter.

Una vez efectuado el cuele en toda su longitud se lleva a cabo la destroza, la configuración y situación de las cargas se determinan mediante la teoría de Livingston: (Atlas Copco. El cuele Cráter en la perforación de chimenea)

- La longitud de la columna de explosivo debe ser menor de 6 veces su diámetro (6d) para que actúen como cargas esféricas.
- La profundidad óptima de la carga es aproximadamente el 50% de la profundidad crítica:
- Los barrenos no deben estar demasiado próximos para evitar la sinterización de la roca.

Las ventajas del sistema del cuele cráter frente al método del cuele paralelo son las siguientes:

- Menores costes de perforación, al ser el número de barrenos inferior y eliminar el ensanchamiento por escariado del barreno central y no se precisa una perforación tan exacta.

#### **3.1.1.4 – Método -"VCR"**

Paralelamente a la difusión del método de Cráteres Invertidos, en la explotación de yacimientos metálicos se desarrolló el sistema de ejecución de chimeneas "VCR», que se basa en los mismos principios que el método del cuele cráter. (Lopez Jimeno, E.; Lopez Jimeno, C. "Las Voladuras en Cráter y su aplicación a la minería) Ver anexo 1

En este caso los barrenos, con diámetros semejantes a los que se utilizan en las voladuras de producción, se disponen en secciones cuadradas con las cargas de explosivo a la misma altura.

Las ventajas que ofrece este método frente al anterior son:

- Menores costes de perforación y menor número de barrenos.
- Mayor facilidad de carga del explosivo.
- Ejecución de la chimenea en una sola fase y, por consiguiente, menor tiempo de excavación, y
- Posibilidad de perforar con los equipos de producción de martillo en el fondo.

#### **3.1.1.5 - Método combinado**

Consiste en la apertura mediante Raise - Boring, de una chimenea piloto de un diámetro de 1 a 2 m y utilización posterior de dicha labor como hueco de expansión.

El método es aplicado en los grandes proyectos subterráneos de obra pública y en la excavación de pozos o chimeneas de gran sección.

Las ventajas principales que presenta son:

- Esquemas amplios de perforación y, por consiguiente, costes bajos.
- Cargas de explosivo relativamente pequeñas y, por lo tanto, menores daños a la roca remanente.
- Posibilidad de ejecutar el disparo de toda la chimenea de una sola vez.

La distancia del primer barreno al hueco excavado mecánicamente debe ser pequeña, pues el frente libre es cóncavo y la roca se encuentra bastante sana después de dicha excavación. (Gustafsson, R. "Técnicas Sueca de Voladura" SPI ,1977)

#### **3.1.1.6 – Chimeneas construidas con equipos de minado continuo**

##### **Raise Borer**

Es el sistema continuo de ejecución mecanizada de pozos o chimeneas entre dos niveles dentro de una mina o en un proyecto de ingeniería civil. Los niveles pueden ser subterráneos o el superior estar en la superficie. Este método se desarrolló en los 50 en Estados Unidos. Consiste, básicamente, en la ejecución de un sondeo piloto siguiendo después el ensanche de éste en sentido ascendente. (Ver anexo 6)

Desde entonces se ha innovado para encontrar nuevas aplicaciones en la perforación horizontal o con pequeño ángulo y en la vertical sin sondeo piloto. Se suele usar una gama de diámetros entre **2000** y **3000** mm y profundidades de **100** a **200** m, aunque se ha llegado a **6000** mm de diámetro y **1099** m. de profundidad.(Ver Anexo 2 al 5)

#### **3.1.1.7 - Características del sistema**

Este sistema tiene las siguientes ventajas respecto a los métodos tradicionales:

- **Seguridad.** Se eliminan los riesgos asociados a la presencia de trabajadores en el frente en excavaciones verticales.

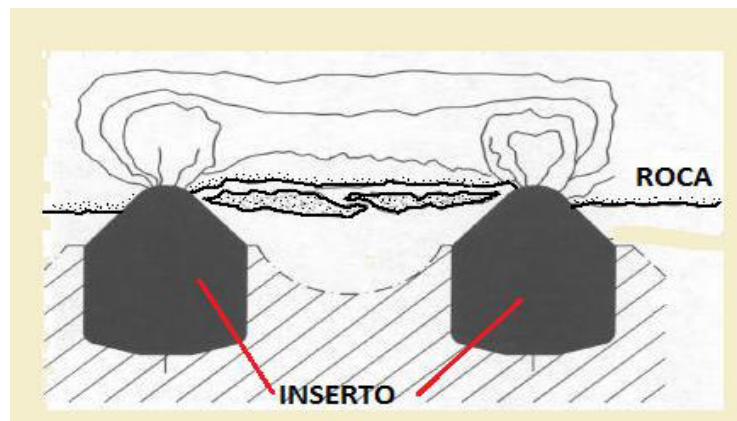
- **Coste efectivo.** Se elimina el requerimiento de personal altamente especializado para la perforación de pozos y chimeneas. La reducción es más evidente conforme aumenta la longitud de la excavación.

- **Rapidez.** El sistema es de avance continuo con lo que se eliminan tiempos improductivos.

- **Paredes suaves y auto sostenidas.** El sistema no afecta a la roca circundante al hueco, con lo que no se precisa sostenimiento. Las paredes son lisas, con lo que la resistencia a la circulación del aire disminuye.

### 3.1.1.8 - Principios de excavación

La roca se fractura por los mismos principios de la perforación rotativa. Los cortadores se hacen girar bajo un gran empuje contra la roca, rompiéndose ésta por la penetración del borde o de los botones de cada cortador. La velocidad de penetración está relacionada con la resistencia a compresión simple de la roca. (Figura No 9)



**Figura No 9.-** Trabajo de los insertos de la cabeza perforadora, de la broca del RB, la roca se rompe por pequeñas lascas.

Si el empuje sobrepasa la resistencia a compresión de la roca, se producirán unas grietas debajo del cortador que se propagan hasta que la roca se rompe. También es importante la separación entre los cortadores

para que las grietas se unan y la roca se rompa en lascas. Para rocas blandas hay un menor número de cortadores y más espaciados que para rocas duras.

#### 3.1.1.9 - Sondeo Piloto

Se realizará con un diámetro en función del diámetro del varillaje y del de escariado. Es muy importante que el taladro se desvíe lo menos posible (1%).

Entre los factores que influyen en la desviación están:

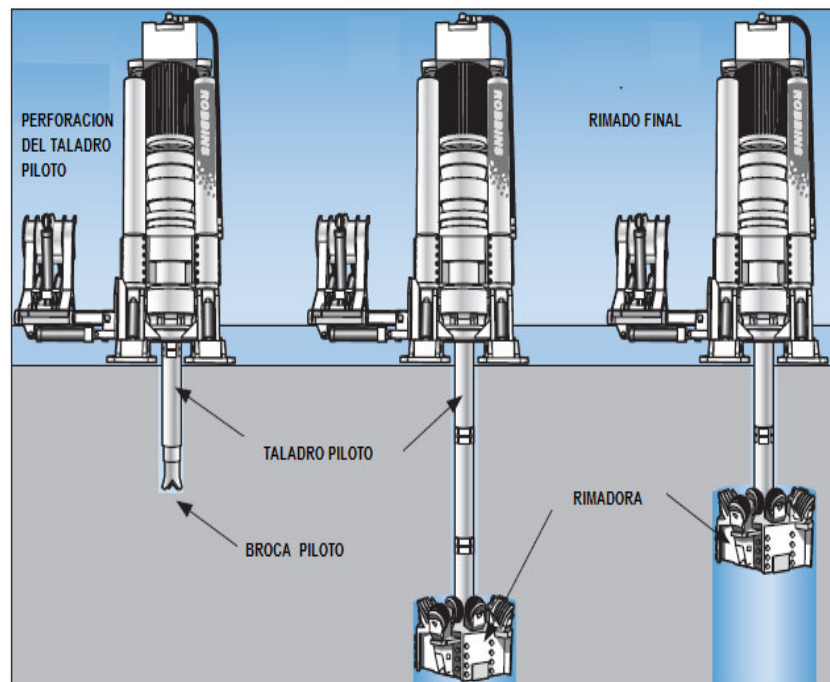
- **Inclinación del taladro.** A mayor inclinación, mayor desviación.
- **Empuje aplicado.** Un empuje excesivo favorece la desviación, hay que tener en cuenta que a partir de cierta profundidad, el peso del varillaje puede superar el empuje necesario; así la máquina en lugar de empujar deberá compensar el exceso de peso.
- **Buzamiento de la formación.** El taladro tiende a avanzar paralelamente al plano de estratificación.
- **Dureza.** Tiende a desviarse a zonas más blandas.
- **Diseño del varillaje.** Barras de mayor diámetro mantienen mejor la dirección.

#### 3.1.1.10 - Aplicaciones de la técnica Raise Boring

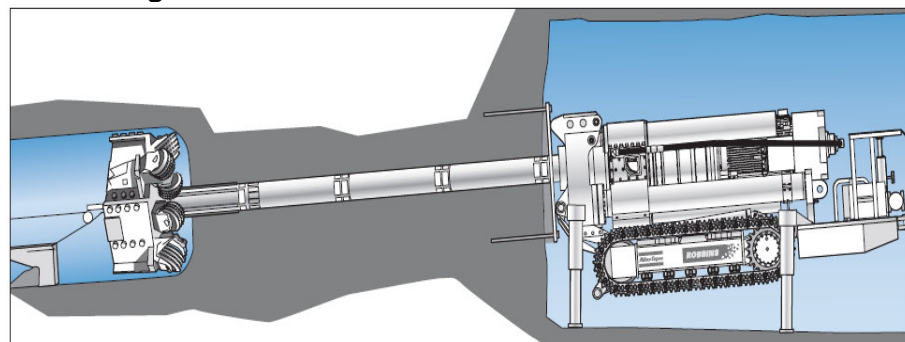
- **Sistema tradicional (Vertical):** Es un sistema seguro, eficiente y de bajo coste para realizar excavaciones en diferentes diámetros, longitudes y distintas formaciones geológicas. (Figura No 10)

- **Sistema horizontal:** Nace como competencia a la perforación tradicional con voladura y las TBM. Las claves de este sistema son un sondeo piloto certero (normalmente en dos etapas), una buena evacuación del detritus y la estabilidad de la formación rocosa. (Atlas Copco. Product

catalogue – Raise boring equipment”, Secoroc Rock Drilling Tools.) Figura No11

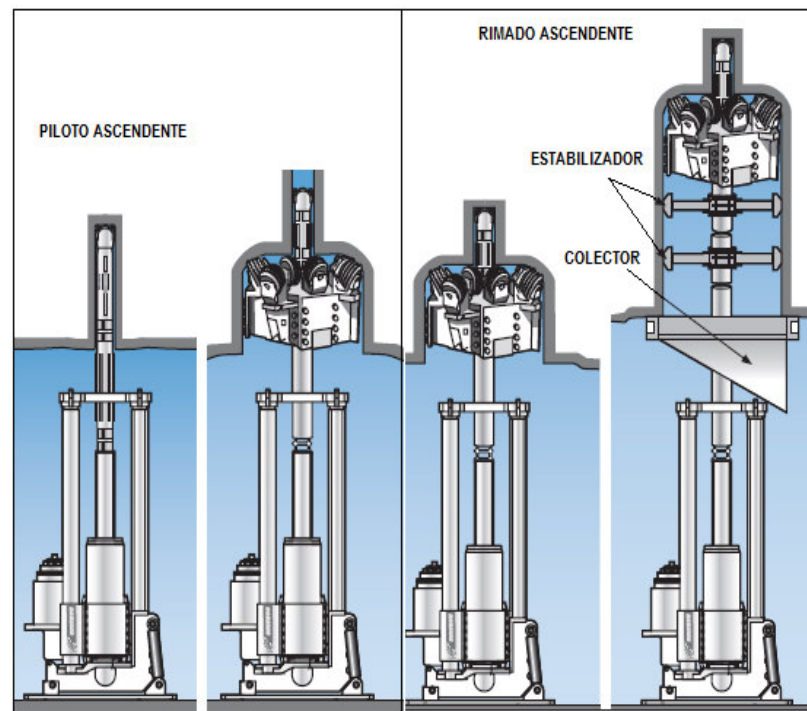


**Figura No 10.-** Perforacion Vertical con Raise Borer



**Figura No 11.-** Perforación subhorizontal de la maquina Raise Borer (tomado de Atlas Copco Raise Boring Equipment)

**Sistema vertical ascendente:** La perforación vertical ascendente también es posible su realización, utilizando un taladro piloto inicial que permite servir como guía, sin necesidad de realizar longitudes largas, solo lo suficiente como para acoplar la cabeza de rimado y realizar ambas perforaciones simultáneamente, para esto a medida que avanza la sección mayor llevara estabilizadores de la columna que asciende rimando. (Figura No 12)



**Figura No 12.-** Proceso de perforación vertical ascendente, con máquina Raise Borer, obsérvese el uso de estabilizadores para el avance de la cabeza rimadora. (Tomado de Atlas Copco Raise Boring Equipment)

Se tiene una serie de modelos en máquinas perforadoras Raise Borer, que varían por el diámetro que pueden perforar y la longitud, destacando Atlas Copco por los logros obtenidos en minería, contando con una diversidad de modelos y rendimientos de cada uno de ellos (Ver Anexos del 2 al 5)

**Calidad de acabado :** La perforación de chimeneas con máquinas Raise Borer deja las paredes rimadas bien lisas, generando menos resistencia al flujo de aire y materiales que se puedan trasladar por estas labores; sin embargo puede notarse una huella en las paredes de la chimenea , producto del rimado, en forma de ondulaciones, variando las crestas y zonas cóncavas dependiendo de la velocidad del rimado, de la suavidad de la roca y el ángulo de cada botón de corte (diamante) y el tamaño de estos.( Figura No 13 ).



**Figura No 13.-** Acabado de las paredes de una chimenea perforada con maquina Raise Borer. (Tomado de Atlas Copco Raise Boring Equipment)

### **3.2 Causas de Atoros en Chimeneas que sirven de echaderos**

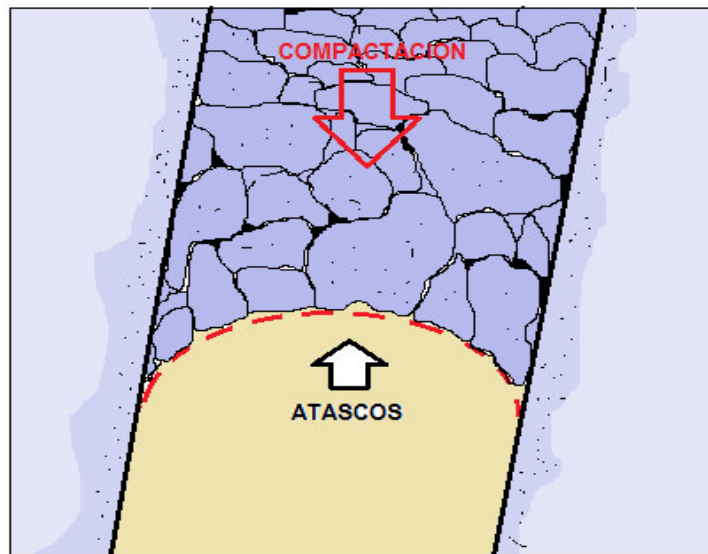
La probabilidad de que ocurra un atoro en la chimenea se puede obtener de la experiencia, la probabilidad de que ocurran atoros en una chimenea donde pasa solo materiales no cohesivos puede ser debido al “entramamiento de granos”, esto se puede disminuir aumentando el diámetro de la chimenea, ya que el arco se hace inestable, se ha mostrado que para que no ocurra este problema el diámetro de la chimenea debe de ser 5 veces el tamaño máximo de la partícula que pasa por esta construcción.

#### **3.2.1 – Compactación de la carga, debido a reducido diámetro De chimenea**

El tamaño del material que circula por la chimenea se traba fácilmente debido a la estrechez de esta, se generan entrelazamiento de fragmentos que se apuntalan efectivamente entre sí, generando una “viga” artificial, que



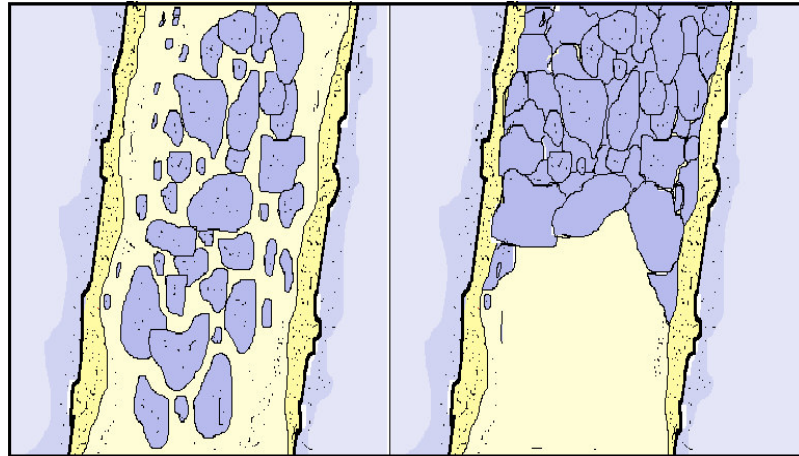
permite soportar la carga superior, obsérvese la relación de tamaño máximo de la partícula y la sección de la chimenea (Figura No 14)



**Figura No 14.-** Relación entre tamaño de la partícula y el diámetro de la chimenea: si la relación es  $> 5$ , el flujo será continuo, de 3 a 5 Existe probabilidad de atoros y si la relación es  $< 3$  existe una alta probabilidad de atoros (según gráfico)

### 3.2.2 – Atoros generados por la compactación de Finos en las paredes de la Chimenea

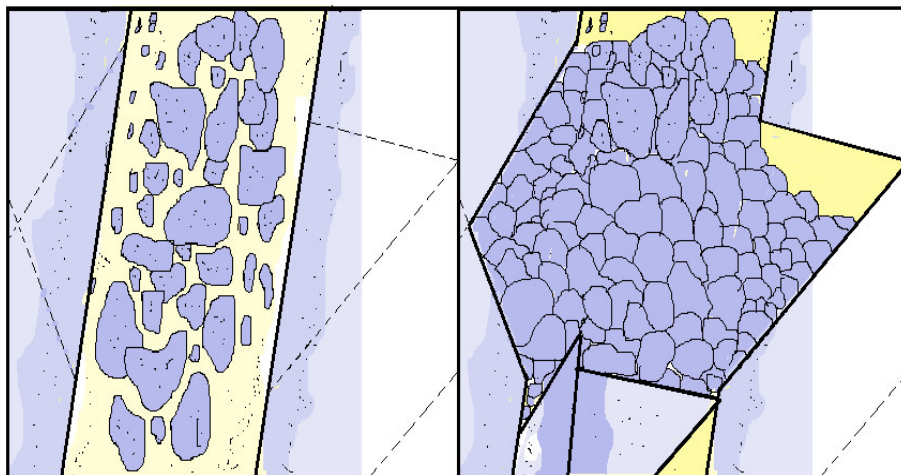
La presencia de “**finos**” en la carga que circula por la chimenea, favorece que estos se compacten en las paredes de ella, que poco a poco van reduciendo la sección, al suceder este fenómeno, se va reduciendo la relación diámetro de la chimenea con el tamaño máximo de partícula, facilitando así el entrelazamiento entre partículas mayores (Figura No 15). En el caso de chimeneas Raise Borer, que tienen pared de acabado liso, suceden acumulaciones de finos cuando las paredes presentan una rugosidad elevada, generado por el rápido avance de la cabeza rimadora.



**Figura No 15.-** La acumulación de finos en las paredes de la chimenea, reducen el diámetro de esta y facilita la generación de atoros

### **3.2.3 – Generación de atoros por colapso de las cajas**

La presencia de sistemas de fracturas desfavorables en una chimenea, generan colapsos dentro de ella, estas pueden suceder a manera de lajas o como grandes cuñas, que al caer tapan totalmente el paso del material (Figura No 16)



**Figura No 16.-** La presencia de fracturas desfavorable a la dirección de la chimenea, generan el descaje de estas y la obstrucción por lajas o por grandes cuñas.

### **3.2.4 – Generación de atoros por presencia de cavidades cársticas y /o drusas en la periferia de la chimenea**

La presencia en la periferia de la chimenea de grandes drusas generan atoros, los fragmentos grandes de material al quedar trabados reducen el diámetro de paso de la chimenea, de igual manera las oquedades generados por procesos cársticos en rocas carbonatadas (calizas), facilitan el “trabamiento” de bloques de material y el atoro de chimeneas que se usan como echaderos.

### **3.2.5 – Atoros por carga “dormida” en la chimenea**

La carga que se vierte en la chimenea y permanece demasiado tiempo dentro de ella se compacta y se consolida, esto debido a la redistribución de las fuerzas, primero en su base y seguidamente en las paredes de la chimenea generándose un proceso de atoro de acuerdo a las características físicas y químicas del material, que puede ser favorecido por reacciones exotérmicas de sulfuros presentes dentro del material.

### **3.2.6 – Atoros por mínima granulometría del material circulante**

Un elevado porcentaje de material fino dentro de la carga, facilita que esta se compacte. Las partículas pequeñas son más fáciles de cohesionarse, mientras permanece en la columna, reducen al mínimo los vacíos entre sí y cuando hay suficiente cantidad de material fino esta se cohesiona entre si y hacia las paredes de la chimenea sucediendo el comportamiento descrito en la teoría de las “características de los medios granulares”.

### **3.2.7 – Atoros por presencia de materiales extraños en la Carga circulante**

La presencia de materiales extraños dentro de la carga que circula en una chimenea de traspaso como: madera, fierros de empernado residual,

tuberías de polietileno o fierro, etc., favorece y genera atoros de difícil solución debido a que estos materiales se cruzan entre sí generando trabas en el punto donde se encuentran.

### **3.3 - Atoros de chimeneas de gran longitud Raise Borer en La Mina Huanzala**

En la Empresa Minera Santa Luisa, todos los trabajos de mina son completamente mecanizados desde las preparaciones, desarrollos y explotación de los minerales en sus dos unidades: Huanzala y Pallca, por lo que la construcción de sus chimeneas son hechos con equipos modernos, conocidos como maquinas Raise Borer, en estas unidades los diámetros máximos de perforación son de 1.50 m.

Estas chimeneas son construidas generalmente para ventilación; sin embargo también son utilizadas como ore pass, para desmonte y/o mineral.

#### **3.3.1- Atoro de la chimenea RB C – 200. Unidad Huanzala**

La Chimenea está construida en roca caliza con un diámetro de 1.50 m

Tiene una longitud de 120 metros y una inclinación de 75 grados, se accede a la cabeza de la chimenea por una rampa que comunica al nivel 200. (Ver plano 1)

En el nivel C - 200 se estaba ampliando una antigua labor convencional de sección 2.10 x 1.80 m, (galería C- 200) a 4.00 m x 4.50 m , existiendo en esta labor tramos donde se tenía cuadros de madera y zonas de rieles antiguos, además en la roca en la caja piso se aprecia una avanzada alteración, observándose minerales de arcilla, lo que hace que el material se apelmace fácilmente; la presencia de agua favorece ese fenómeno.

La sección de avance de 4.00 x 4.50 m se realiza con jumbo Rocket Boomer 282 de un brazo y perforación con barra de 14 pies, el material se traslada por la chimenea C-200 hacia el nivel P 100, se utiliza para ello un equipo Scooptram de 6 yardas de capacidad de cuchara.

La chimenea de traspaso C- 200, tiene una longitud de 120 metros una inclinación de 75 grados con un diámetro de 1.50 m. El material se vierte desde la cabeza en ciclos de 20 cucharas arriba y 20 de limpieza desde el pie sin embargo, estos ciclos no se continuaron y se llenó con carga toda la longitud de esta labor (120 m. de columna), posteriormente cuando se limpió la base, solo se logró descargar hasta una altura de 45.0 m quedando el resto colgado teniéndose una columna neta de carga atorada de 75.0 m.

Los trabajos de desatoro de esta chimenea fueron diversos, varios de ellos de alto riesgo para el personal que se dedicó a realizarlo.

Los materiales presentes en este atoro son las siguientes:

- Madera de cuadros (redondos y tablas)
- Durmientes de 1.20 m x 6" x 4"
- Tramos de Tubería de PVC de 2"
- Tamos cortos de Rieles (3.00 m)
- Bloques de roca de 0.80 m x 0.60 m
- Agua filtrándose por la chimenea
- Material estéril arcilloso

### **3.3.2 – Atoro en la chimenea 1350 Unidad Pallca**

Esta chimenea tiene una longitud de 167 metros, una inclinación de 80 grados y diámetro 1.50 m, está construida en calizas. El trabajo que se realizaba era traspasar desmonte del nivel superior a uno inferior, en ciclos de 20 cucharas echándos y sacándos por la cabeza y el pie respectivamente; sin embargo este ciclo se interrumpe y se continúa con 3

ciclos consecutivos de echado por la cabeza y no se extrajo por el pie el material acumulado durante la guardia.(ver plano 2)

Cuando se inicia la extracción ya la carga no cae más allá del cono natural de reposo del material, el desatoro inicial se realiza con tuberías de PVC con carga en la cabeza, hasta una altura de 25 metros, en la carga se tenía material conformado por grandes lajas de estéril de longitudes entre 0.80 a 0.60 m ancho de 0.40 a 0.50 m y espesores de 0.20 a 0.30 m, además de restos de pernos helicoidales ya utilizados.

El atoro se genera por el entrecruce de las lajas con la pared de la chimenea y el apoyo de los pernos de sostenimiento de desecho, también cruzados en la pared.

### **3.3.3 Atoros en la chimenea 4740 Unidad Pallca**

La Chimenea 4740, se ubica su cabeza en la parte alta del yacimiento zona “Culebras minas”, su longitud es de 268 metros, con una inclinación de 72 grados y diámetro de 1.50 m; Los trabajos que se hacían en esta chimenea era enviar mineral de la zona de “Culebra minas” (ver plano 3)

El proceso se hacía cumpliendo ciclos de 20 cucharas, echando por arriba y extrayéndose por el pie de la chimenea, el atoro sucede cuando se interrumpe este ciclo echándose más de dos ciclos por la cabeza y dejar de extraer, por el pie al cabo de dos guardias.

El material acumulado dejo de caer y pese a los Plasteo, que se hizo por la base, el mineral quedo atorado a una altura de 90 metros del pie de la chimenea y una columna de carga suspendida aproximada de 72 metros. El material atorado en esta Chimenea es muy fino, compuesto de piritas granuladas, minerales de Plomo y Zinc, siendo abundante la ganga de Pirita y Pirrotina, los fragmentos más grandes no sobrepasan las 4

pulgadas siendo elevado el porcentaje de finos (menor a 2.0 mm aproximadamente 30%).

Una característica a tener en cuenta en este caso de atoro, es la rugosidad de las paredes de la chimenea, que en este caso se aprecian ondulaciones aproximadamente de media pulgada entre cada cresta, con zonas cóncavas de  $\frac{1}{2}$ ", además también se presentan geodas en una parte de las paredes de la chimenea, las cuales han sido cortadas por el trayecto de la perforación de la chimenea RB, durante su construcción.

En esta chimenea atorada ningún método aplicado dio resultado positivo, permaneciendo atorada a la fecha.

### **3.4 - Métodos Utilizados para Desatorar Chimeneas**

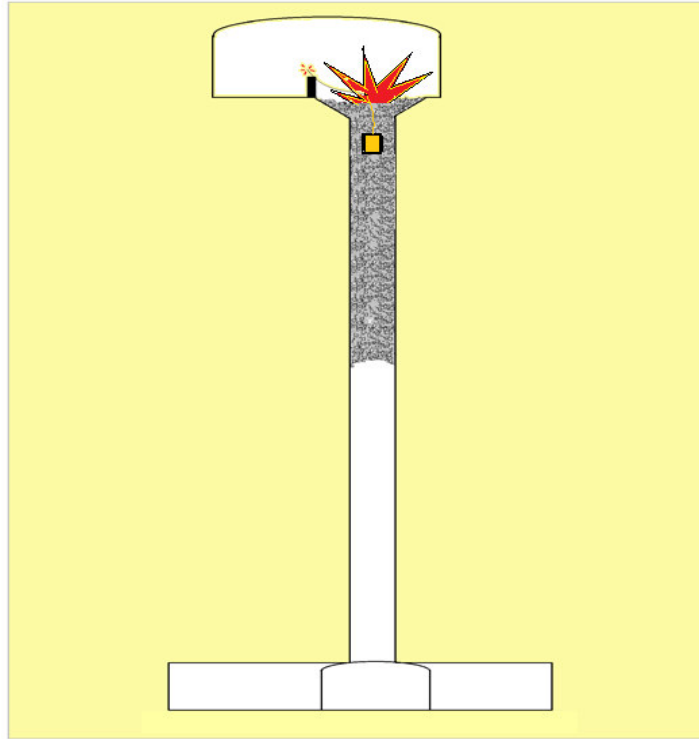
Existen diversos métodos para desatorar chimeneas en minería subterránea, varios de ellos muy empíricos y de alto riesgo para la vida de quienes participan en estos trabajos. Se puede encontrar estos trabajos desde la pequeña y mediana minería convencional, hasta en la mediana minería mecanizada, donde las chimeneas son construidas con equipos de perforación continua y son de gran longitud.

De todas las alternativas que se usan para desatorar chimeneas, en este trabajo se tratan solo 10 de ellas, descartando a otros métodos muy peligrosos, como es el caso de subir por el interior desde el pie de la chimenea hasta la zona atorada y colocar un explosivo, esto es una conducta muy temeraria y reñida con los estándares de seguridad establecidas en la minería formal.

#### **3.4.1 – Plasteo de la carga atorada desde la cabeza de la chimenea**

Cuando la carga se observa en la cabeza de la chimenea, un trabajador provisto de su arnés y doble línea de vida, se posa sobre la zona de la carga, excava un agujero lo más profundo posible, para enterrar una

carga explosiva contenida en un saco, para luego ser activada con una mecha de seguridad con el fin de hacer caer la columna colgada. (Ver Figura No 17).



**Figura No 17.-** Plasteo de la carga desde la cabeza de la chimenea

La cantidad de explosivo (Anfo) que suele utilizarse es de 12 kilogramos, aunque algunas veces se activa 25 kilogramos de explosivos, enterrado lo más profundo posible.

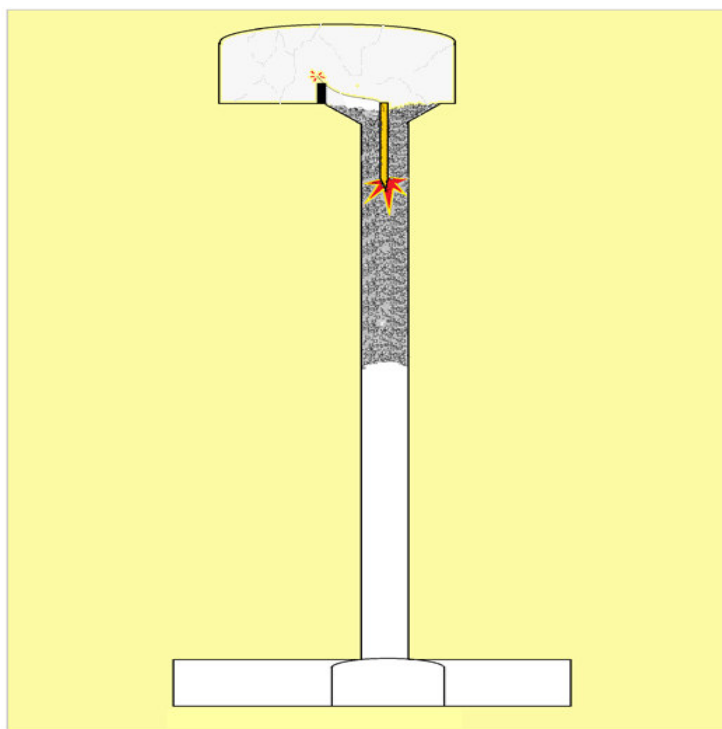
Este método no tiene efectividad cuando la columna es demasiado grande. Aquí el trabajador se expone a ser succionado por la carga, si esta cede durante el trabajo preparatorio, el tiempo de exposición a este peligro varía entre 1 a 2 horas dependiendo de la profundidad que se excave para colocar la carga explosiva.

### **3.4.2 – Utilización de tubo de fierro tipo lápiz**

Teniendo siempre la carga visible en la cabeza de la chimenea, se introducen a la zona de la carga dos o más trabajadores asegurados cada



uno con sus respectivo arnés y doble línea de vida, llevando un tubo de fierro dulce de longitud aproximada de 3.0 m a 5.0 m, cuyo diámetro varía de 50 mm a 180 mm el cual ha sido preparado en uno de sus extremos con una punta tipo lápiz o cincel sellado en este lado, lo introducen en la carga presionándolo con un equipo o a golpes hasta lograr tenerlo lo más profundo posible, luego se carga con explosivos y se activa. (Figura No 18)



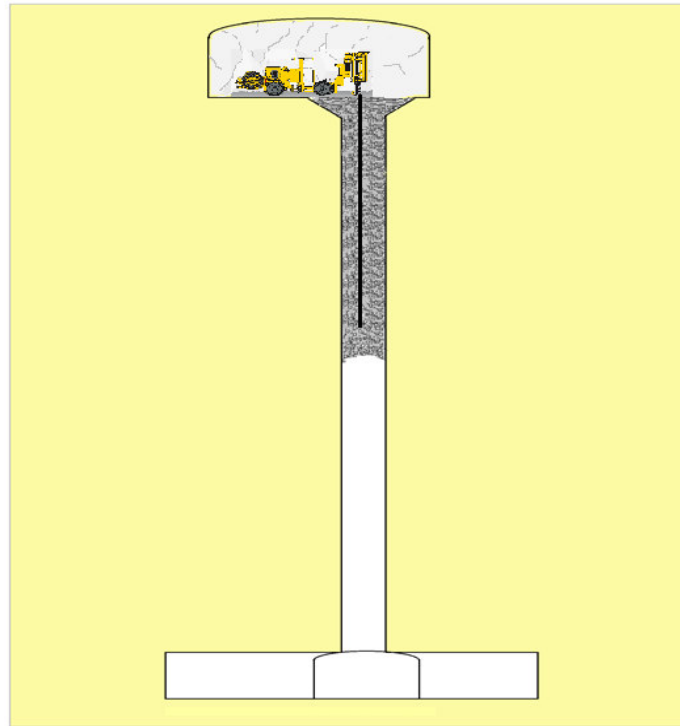
**Figura No 18.** Utilización de tubo de fierro tipo lápiz

El resultado es favorable cuando la columna no es tan grande (entre 5 a 10 m), el tiempo de exposición varía entre 3 horas a más, dependiendo de la dificultad en clavar el tubo, el peligro es mayor ya que se está golpeando la carga colgada constantemente y esta pueda ceder y los trabajadores expuestos pueden ser succionados y triturados por el material que cede al quedar enterrados parcialmente.

### **3.4.3 – Empleo de equipos de perforación vertical (Simba)**

Se coloca un equipo de perforación vertical de barras armables, como una Simba en las inmediaciones del echadero, y se empieza a

perforar en el centro de la chimenea sobre la carga, hay uno o dos personas que están apoyando en armar las barras cada vez que se aumenta la longitud de perforación.



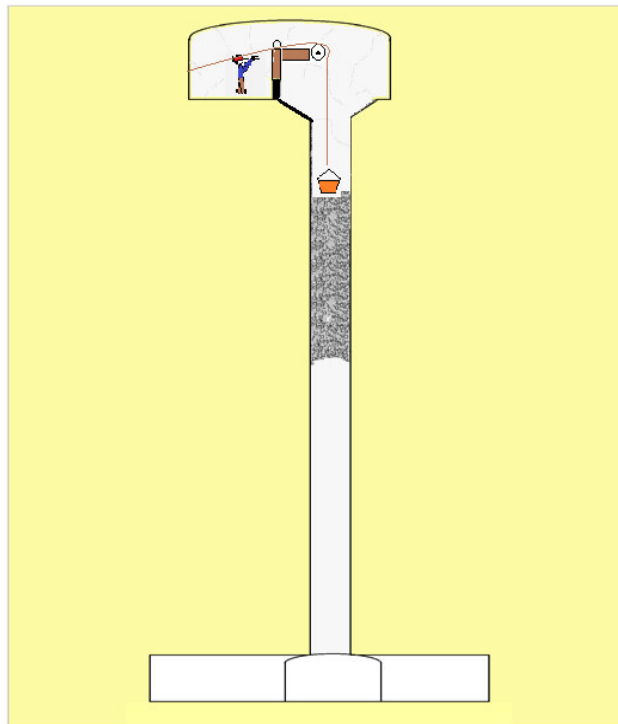
**Figura No 19.** Empleo de equipo de perforación vertical (Simba) para desatorar Chimenea

Este método es usado cuando la columna colgada es larga y da resultados ya que cuando se llega al punto crítico de campaneó, la barra percute en ese punto y se logra el descampaneó de toda la carga. (Figura No19)

El peligro presente es que durante la operación la carga ceda y se lleve consigo al personal y al equipo y quede atorado en la boca del echadero, debido a que durante la perforación la barra ha ido atravesando bancos y al ceder la columna la presión del resto de la carga jale consigo todo. En el mejor de los casos arrancara toda o la mayor parte de la columna de barras de perforación.

#### 3.4.4 – Extracción de la carga con baldes

El personal está dentro de la chimenea extrayendo la carga de la columna atorada, utilizando un balde el cual es izado por una wincha, tecele o polea de izaje, este trabajo es muy lento y poco a poco se irá descendiendo dentro de la chimenea, a medida que se vaya extrayendo la carga de la columna. (Figura No 20)



**Figura No 20.-** Extracción de la carga atorada usando baldes.

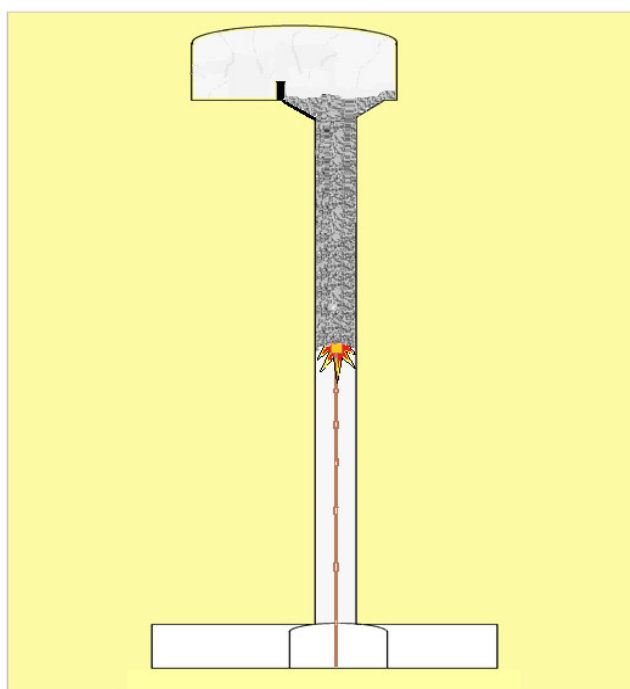
El trabajo consiste en lograr acortar la columna de carga colgada lo más posible y luego poner plastita o utilizar el tubo con explosivos en el fondo.

Para este trabajo se utilizara su arnés y EPP adecuado, trabajaran dos o tres personas por cuadrilla, rotando el trabajador que está dentro de la chimenea con los que están en la superficie de la chimenea.

Este método es tedioso y de larga duración, el trabajador se expone a la caída de rocas durante el izaje del balde, succión por el colapso durante el trabajo y estrés por trabajo en espacios confinados.

### 3.4.5 – Utilización de listones de madera con carga explosiva en la Punta

Este método se utiliza empleando listones de madera amarrados pieza a pieza, el cual se introduce por debajo de la chimenea hasta llegar a la zona atorada, el listón de madera lleva en la cabeza una carga explosiva que puede variar de dos a cuatro kilos, que será activada por el cordón detonante que está unida a la carga explosiva (el cordón llega hasta el pie de la chimenea). Este a su vez será iniciado con una guía de seguridad.



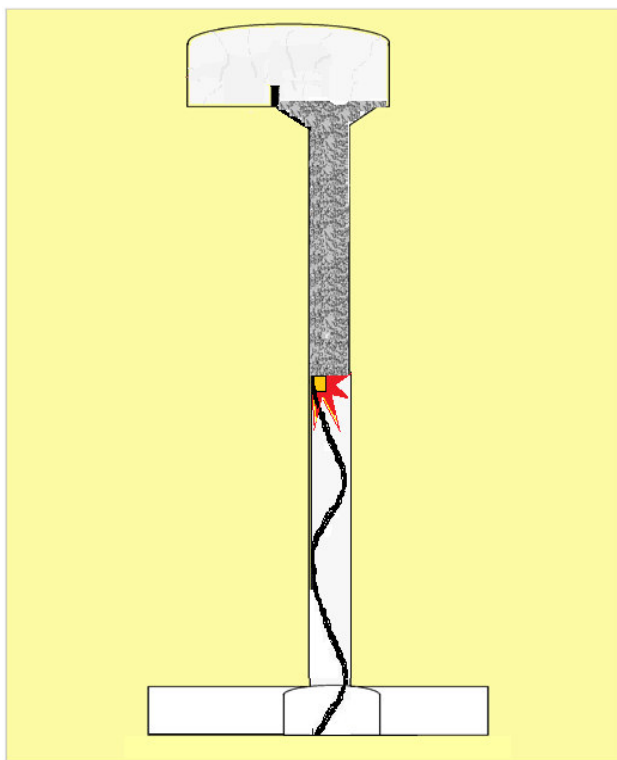
**Figura No 21.-** Utilización de listones de madera con carga explosiva en la punta para desatorar chimeneas.

Esta técnica de desatoro es factible cuando la chimenea es corta o cuando la carga campaneada está cerca no mayor de 10 metros. Cuando la carga está más allá de esta altura, manipular el listón se hace difícil y muy peligroso, debido a que puede romperse y caer verticalmente e incrustarse en el personal que lo manipula, además la exposición debajo de la chimenea es mayor de 30 min cuando el punto campaneado supera los 20 metros. (Ver Figura No 21)

### 3.4.6 – Utilización de tubería de PVC de 4 a 6 pulgadas con carga

#### Explosiva

Este método es muy similar al anterior, la facilidad radica en que la tubería puede ser de un solo tramo y puede ser levantada por el empuje de un equipo Scooptram desde un extremo. (Figura No 22)



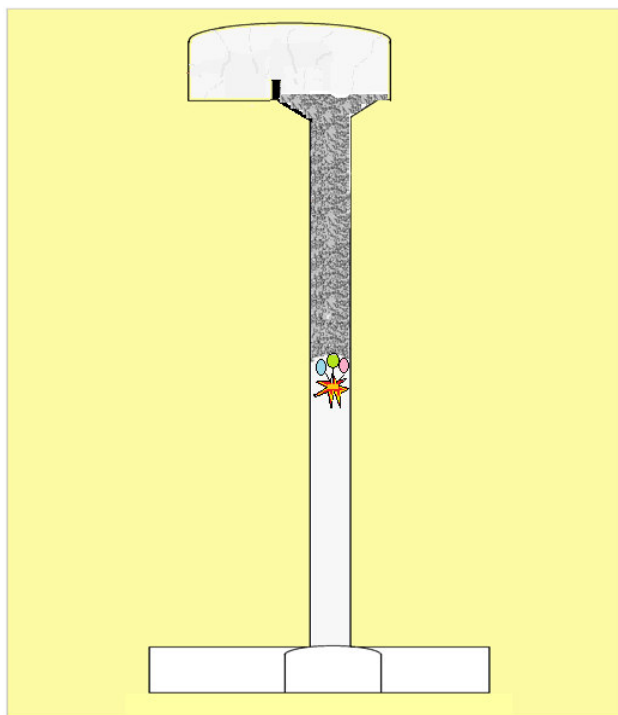
**Figura No 22.-** Utilización de tubería de PVC de 4 a 6 pulgadas con carga explosiva para desatorar chimeneas.

La tubería tiene un límite en mantenerse rígida y a medida que la altura aumenta, llega un punto en su ascenso que empieza a girar por la periferia de la chimenea y enroscarse como una serpiente y luego cae todo el rollo intempestivamente, sobre el personal que apoya su ascenso. Esto puede generar lesiones graves o en el peor de los casos con el golpe de la caída la carga explosiva puede activarse y generar un accidente catastrófico.

El tiempo de exposición del personal debajo de la chimenea puede variar entre una hora a dos horas

### 3.4.7 – Utilización de globos de Helio llevando carga explosiva

Este método se emplea enviando globos inflados con helio que lleva amarrado un cartucho de explosivos iniciado con una mecha, lo suficientemente largo para llegar a la zona atorada y detonar la carga explosiva. Ver Figura No 23



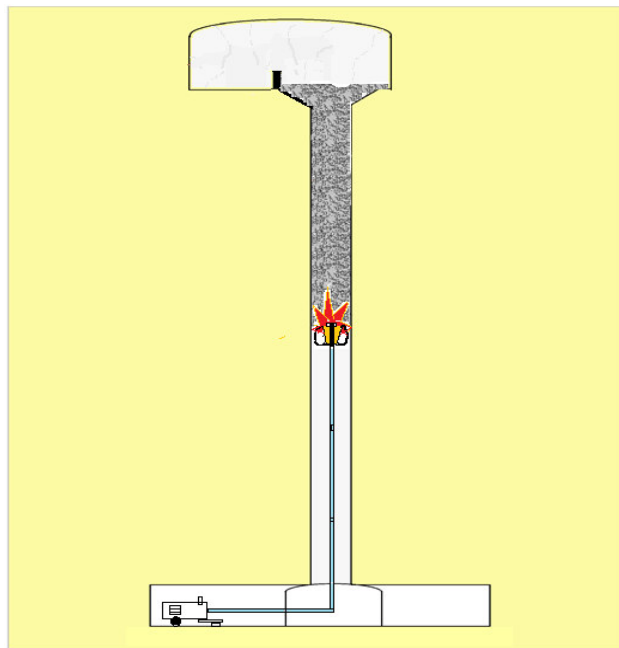
**Figura No 23.-** Utilización de globos de Helio llevando carga explosiva para detonar chimeneas.

Se emplea cuando la altura de la carga campaneada está muy alta (entre 20 a 40 m), es sencillo y rápido su ejecución, el inconveniente radica en que solo es efectivo cuando la carga está ligeramente atorada y que la explosión de un cartucho es suficiente para descolgarla y hacerla ceder; sin embargo cuando no es así, es decir la carga está muy atorada, apelmazada y /o con materiales cruzados como madera, bancos grandes y otros, no funciona debido a que requiere mayor cantidad o peso de explosivo y mediante este método no se puede levantar mucha carga explosiva, además la carga explosiva siempre detonara sin tocar el punto crítico campaneado, debido a que se lo impide el globo.

### 3.4.8 – Utilización del dispositivo Spoutnik

Este método utiliza aire comprimido y se basa en la presión que genera el aire comprimido en la manguera de lona que está unida en su extremo ascendente, a un depósito que puede llevar más de 5 kilos de explosivos y que luego de ascender por la presión de aire hasta la zona atorada es activado por un cordón detonante y guía de seguridad desde el pie de la chimenea.

La presión que requiere el dispositivo para ascender es mayor a 80 libras, y la manguera de lona utilizada debe ser resistente a presiones cercanas a las 100 libras y muy liviana. Ver figura No 24



**Figura No 24.-** Utilización del dispositivo Spoutnik para desatorar chimeneas.

Mientras más alto se encuentre la carga colgada, se requerirá más longitud de manguera y con ello el peso aumenta, pero la presión a utilizar debe ser constante e inclusive debe aumentar para que la columna pueda ascender sin problemas.

El trabajador se expone a trabajar al pie de la chimenea entre 20 a 30 minutos, el método es costoso (aproximadamente \$ 2100 dólares por cada disparo, solo en mangueras y dispositivo) si no es efectivo debe repetirse una y otra vez.

Este método de desatoro es más sencillo de usarse en chimeneas Raise Borer, por la suavidad de sus paredes, siendo problemático hacerlo en chimeneas convencionales o donde se haya utilizado voladura en su construcción.

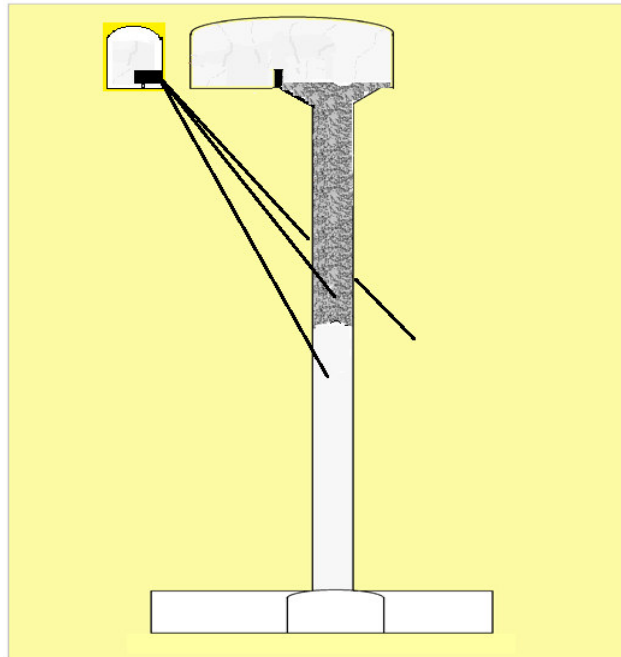
#### **3.4.9 – Perforación de taladros diamantinos direccionados hacia el Punto de atoro**

Desde una cámara cercana a la chimenea atorada se perforan taladros diamantinos, dirigidos hacia la zona del atoro, al llegar al punto la carga se desprenderá al perder soporte por la excavación caso contrario se introducirá explosivos empujado por tuberías.

El inconveniente de esta práctica es la precisión requerida para dar en el blanco, factores como la longitud a perforar, el ángulo de perforación, la desviación, y los datos que se tiene del levantamiento de la labor en problemas va a determinar el éxito, caso contrario las perforaciones pasaran de largo o sencillamente no llegan a la zona requerida. Aquí no hay exposición del personal, el método es seguro en este aspecto, sin embargo tiene un alto costo. Ver Figura No 25

En este método no hay exposición del personal al peligro, sin embargo tiene un alto costo.





**Figura No 25.-** Perforación de taladros diamantinos direccionados hacia el punto de atoro.

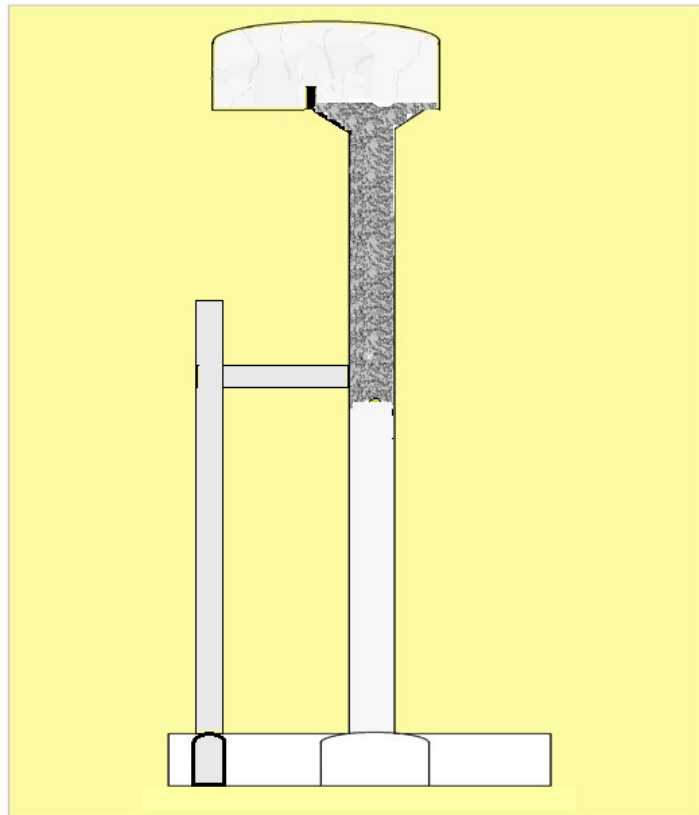
#### **3.4.10 – Construcción de una chimenea menor paralela a la principal, Con puntos de observación (subniveles)**

Consiste en correr una chimenea paralela a la chimenea atorada, que puede efectuarse en forma convencional de sección suficiente (1.20 x 1.00m) como para que sirva de acceso hacia la zona atorada mediante subniveles a partir de esta nueva labor.

Cuando la altura de campaneos supera los 50 metros, el tiempo de pérdida por tener la chimenea atorada y el tiempo de espera en la construcción de la labor alterna, genera pérdidas por los sobrecostos al tener que cambiar los circuitos de acarreo.

Cuando no hay labores cercanas en la trayectoria de un ore pass hace difícil hallar una rápida solución a los atoros de chimeneas que se generan en las operaciones mineras, por lo tanto es importante que los ore

pass se diseñen teniendo en su trayecto cercanía de labores, para que así se puedan construir labores auxiliares de desatoro. Ver Figura No 26.



**Figura No 26.-** Construcción de una chimenea menor paralela a la principal, con puntos de observación (subniveles).

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DEL NUEVO METODO DE DESCAMPANEO DE CHIMENEAS DE GRAN LONGITUD, CASO MINA HUANZALA**

#### **4.1 – Descripción del método**

El nuevo método de descampaneo, de chimeneas de gran longitud, utiliza un dispositivo lanzador de bala explosiva, el cual se diseñó y se construyó en el taller de mantenimiento de la empresa especializada COMINCO SAC, en la unidad minera de Huanzala, con el propósito de lograr desatorar la chimenea C – 200, de diámetro 1.50 m, con una longitud de 120 m y un ángulo de inclinación de aproximadamente 75 grados, construida con equipo Raise Borer en roca competente conformada por calizas de la formación Santa.

El método utiliza tres componente importante para su funcionamiento, el dispositivo lanzador, la carga impulsora y la bala explosiva, todos estos tres componentes se diseñaron y construyeron con los materiales que se tenía en la mina, Pasando cada componente por una mejora luego de las pruebas realizadas en interior mina.

##### **4.1.1 – El dispositivo Lanzador de Bala explosiva**

Es un artefacto cilíndrico, similar a un cañón de artillería que se construyó con tubería de fierro dulce de diferentes diámetros a manera de embone, uno dentro del otro, para obtener así un espesor de las paredes cada vez mayor, capaz de resistir la onda expansiva del explosivo que detona dentro y que se utiliza como carga impulsora.

La obtención del espesor óptimo del dispositivo lanzador, está en razón directa de la carga explosiva a utilizarse como impulsora. El explosivo utilizado menos sensible y de fácil manipulación es el **Anfo**, con una velocidad de detonación media de 2500 m/seg. Siendo una incógnita el peso apropiado a utilizar, que a su vez estaba en relación al peso que tenía que impulsar, que en este caso lo conformaba la bala explosiva que tendría que tener una cantidad de explosivo suficiente como para dañar la traba del atoro y así hacer caer el material campaneado.

El primer modelo del dispositivo lanzador de bala explosiva, se construyó de tubo de diámetro interior de 72 mm y diámetro exterior 86 mm, con un espesor de 14 mm lo cual fue insuficiente para resistir la onda expansiva del explosivo impulsor que inicialmente fue de 2.50 kg, conformado únicamente por Anfo, se destruyó la parte central, donde se genera la explosión de impulso de la bala. Ver Figura No 27



*Figura No 27.-. Primer diseño de dispositivo lanzador.  
Entrada del dispositivo lanzador y bala explosiva*

El segundo modelo del dispositivo lanzador se hizo reforzando el tubo de diámetro interior 112 mm y diámetro exterior 125 mm, a su vez se embono otro tubo de diámetro interior de 125 mm y diámetro exterior de 138 mm. Además se reforzó la parte media a la altura donde se ubica la bala, colocando placas de 13 mm de espesor (zona de la cámara reforzada), sumando en total un espesor en sus extremos de 26 mm y en la “zona reforzada” aproximadamente 39 mm. Se le adiciono un “**Bipie**” triangular para darle estabilidad y regular el ángulo requerido de disparo. Ver Figura 28



**Figura No 28.-** Segundo modelo del dispositivo lanzador, obsérvese la cámara reforzada, su posicionamiento, ayudada por el Bipie, y el modelo de la bala explosiva, mucho más robusta y con más carga transportada.

En las pruebas realizadas en interior mina, el modelo en mención no resistió la explosión de la carga impulsora, debido a que se le adiciono

demasiada carga explosiva para el impulsar la bala, aproximadamente 4.00 kg quedando totalmente deshecho en la zona de prueba.

De la observación de las dos pruebas, se logra entender que existen parámetros técnicos a considerar, en primer lugar del explosivo utilizado como impulsor (Anfo), se debe determinar un volumen apropiado, observando los daños debería estar en el rango de 1.00 a 1.50 kg para reducir a la mitad aproximadamente la energía liberada.

En segundo lugar, se debía calcular, un espesor del dispositivo lanzador que sea lo suficientemente resistente a la detonación del explosivo impulsor (Anfo) y a su vez no tan grueso, para que el peso en total del conjunto permita su manipulación con cierta facilidad.

En tercer lugar, se debía encontrar una manera sencilla de reducir las características más importantes del explosivo impulsor, destacando: la velocidad de detonación (VOD), la energía liberada, y que además ello conlleve al aumento de la “energía de burbuja” o cantidad de gases.

Para dar solución a estos limitantes pendientes se decidió hacer un estudio del explosivo (ANFO) utilizando un kilogramo como patrón, pero que este a su vez debería reducir sus características más determinantes, como la velocidad de detonación (VOD) que oscila entre los 2000 y 2800 m/s cuando no es confinado, el calor de explosión (903.7 kcal/kg) y la presión de detonación que alcanza los 28 kbars.

Para reducir las características del ANFO se usó “aserrín de madera” cuyas principales características son: alta esponjosidad, que le da mayor volumen y menor densidad, siendo mucho mejor cuando cuenta con poca humedad, además la abundancia de encontrarlo en la zona permitió su uso sin embargo, al mezclar el Anfo con aserrín, este se insensibiliza al grado de no iniciar la detonación completamente, cuando la relación en peso es de 1 a 1, por lo que se redujo a 1 de Anfo por medio kilo aserrín; pero se tenía que

adicionar combustible (aceite de motor usado o diésel) para homogenizar la mezcla y aprovechar una mayor generación de gases. De esta forma la mezcla Anfo – aserrín detone totalmente.

#### **4.1.2 – Construcción final del dispositivo lanzador de bala explosiva**

El material adecuado para fabricar el dispositivo lanzador de bala explosiva, debe soportar la explosión y los recursos para este fin, eran limitados en el lugar de trabajo, procedían de la planta concentradora y generalmente lo conformaban materiales usados. Se usó este material chatarra para construir el lanzador de bala llegando a pesar 550 kilogramos aproximadamente. Se construyó el dispositivo con este material considerado como chatarra, llegando a pesar 550 kilogramos aproximadamente.

La preparación del dispositivo lanzador se hizo en base a la observación de las pruebas iniciales de los dos primeros prototipos contruidos, los cuales se destruyeron por usar demasiado explosivo y tubos de fierro de espesores delgados. Las pruebas efectuadas sirvieron de base para mejorar el dispositivo, pese a que se usaron materiales chatarra que no contaba con datos técnicos; sin embargo las experiencias en las pruebas que se hicieron de destrucción de tubos con diferentes cargas hasta ver el mínimo daño, llegando a un kilo de Anfo para la carga óptima.

A este nivel de carga ya no se destruía el tubo solo se hinchaba en la zona de explosión, entonces se decidió reforzar el espesor en ese punto del tubo para evitar que se dañe.

Para evitar que en cada disparo el dispositivo lanzador se vaya deformando en la zona de la explosión de la carga impulsora (zona reforzada) y evitar el incremento del espesor de este (blindaje), se decidió reducir algunas características importantes del Anfo, como la energía liberada, la velocidad de detonación y su densidad específica. Esto en

nuestras pruebas se determinó que sería 1000 gramos de Anfo, para lo cual se utilizó aserrín.

Cuando las pruebas de la nueva carga impulsora de Anfo/Aserrín con una relación en peso de 2 a 1 dieron mejores resultados, entonces el dispositivo lanzador de bala explosiva quedo con las dimensiones finales siendo el tercer modelo el último elegido (Ver figura No 29)



*Figura No 29.- Dispositivo lanzador de bala explosiva final, para el descampaneo de la chimenea RB C 200, en la Unidad Minera Huanzala.*

#### **4.1.3 – Carga Explosiva Impulsora.**

El explosivo disponible en las minas subterráneas mecanizadas es el ANFO y este se usa para la carga impulsora de la bala explosiva, la carga se inicia con emulsión de 1" x 7"

El reto a solucionar al usar Anfo como carga impulsora, es su elevada velocidad de detonación, su Brisance o poder rompedor y su elevada energía (calor de reacción), que se genera al explosionar la carga.



Se tenía al principio el inconveniente que al producirse la explosión dentro del dispositivo lanzador de bala explosiva, este se destruía o se deformaba, aun utilizando 1000 gramos de explosivo, cuando el tubo de prueba tenía un espesor delgado (10 a 22 mm)

Analizando las características prácticas de los explosivos, se encontró que la potencia relativa (expansión generada por la detonación del explosivo), la energía (Calor de reacción) el Brisance o poder rompedor y la velocidad de detonación son elementos del explosivo que debían modificarse para solucionar el inconveniente.

Se observó que la densidad del explosivo es una variable muy importante que relaciona a todas las demás, por tanto debería reducirse para tener un explosivo menos denso sin llegar al extremo de volverlo insensible.

Una forma práctica de reducir la densidad es bajar su concentración y por tanto diluir la carga era la solución más adecuada agregándole un material que aportara gases al generarse la reacción.

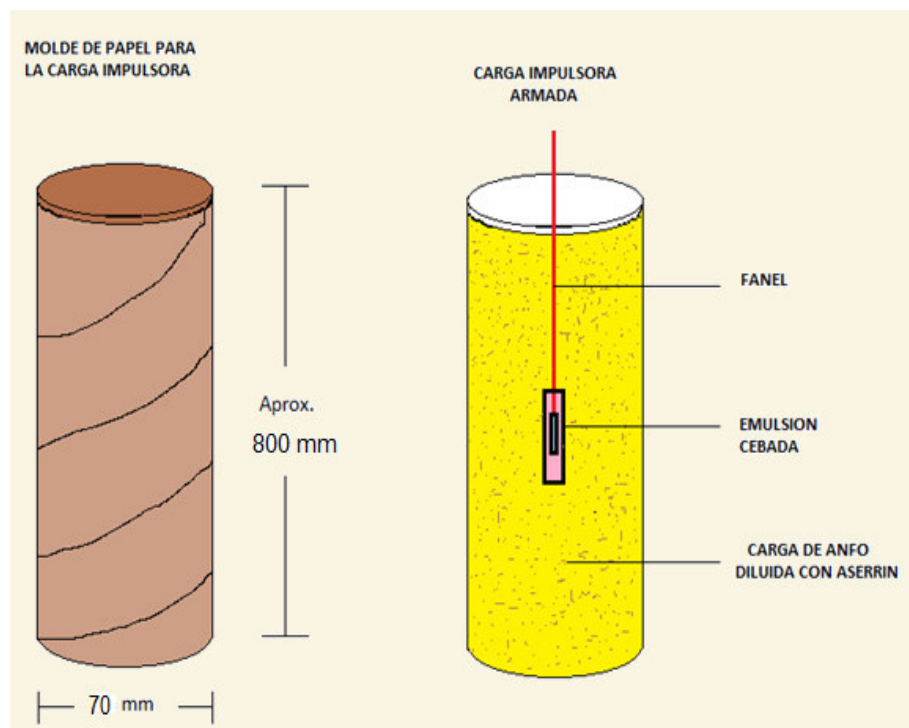
El porcentaje de dilución de carga se hizo en forma empírica conociendo que en 1000 gramos de Anfo con una velocidad de detonación de aproximadamente 3000 m/s, la energía liberada es de 907,3 kilocalorías y la presión de detonación es de 45 kbars.

Reducir estos valores a un 50% sería lo más adecuado, por lo que se decidió usar 500 gramos de Aserrin de madera de eucalipto seco.

Al efectuar la mezcla se observó que esta era muy esponjosa y ocupaba más volumen por lo que para evitar la insensibilidad y falta de combustible se añadió a la mezcla 250 mililitros de petróleo, solucionando el inconveniente y generando además mayor cantidad de gases en la reacción.

Con la mezcla ya decidida para la carga de lanzamiento se planteó calcular la energía que genera esta reacción y verificar si efectivamente se redujo la energía estándar del Anfo de 907,3kcal. Estos cálculos se presentan en el apartado 4.2.5.4.

Entonces La carga impulsora está constituida de Anfo, aserrín de madera y petróleo. La relación de los componentes es 1000 gramos de Anfo, 500 gramos de Aserrín y 200 mililitros de petróleo. Todos estos componentes son mezclados homogéneamente, esta va empaquetada en un envase de papel cilíndrico como se muestra en el Figura No 30.



**Figura No 30.-** La carga impulsora está constituida por una mezcla de Anfo – Aserrín - Petróleo, envasada en papel de bolsa de cemento, según como se muestra.

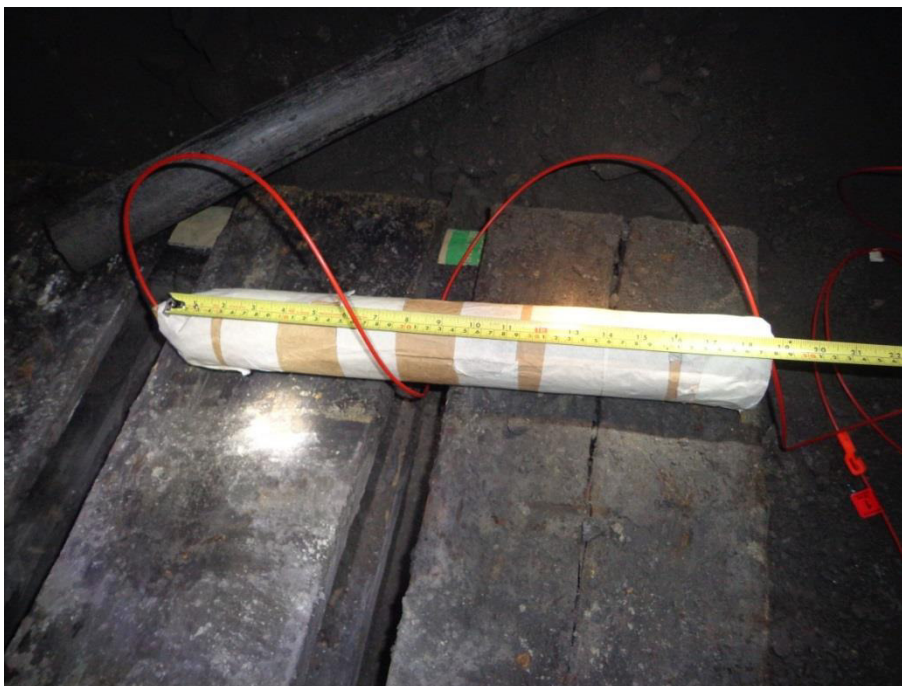
El papel utilizado es reciclado de bolsa usadas de cemento, los extremos se aseguran con cinta de papel adhesiva para mantener compacto toda la carga impulsora. Esta se iniciara con un cartucho de emulsión y un accesorio de voladura con retardo mínimo en este caso se usó de 25 msg. (Ver Figura No 30 y 31).

#### 4.1.4 – Diseño y Construcción de la bala explosiva

La bala explosiva se construyó en los talleres de mantenimiento de la empresa especializada Cominco, quien está a cargo de la explotación en la Unidad Huanzala.

Las características de la bala a ser lanzada por el “cañón”, son las siguientes:

- Tener una forma tal que la fricción sea mínima al desplazarse dentro del dispositivo lanzador para evitar pérdida de energía de empuje, además de evitar el taponeo del conducto por donde sale la bala.



**Figura No 31.-** Carga impulsora empaquetada y armada con su accesorio de voladura de retardo mínimo. Por facilidad de armado se hacen dos paquetes de carga impulsora una de 50 cm y la otra de aproximadamente 30 cm.

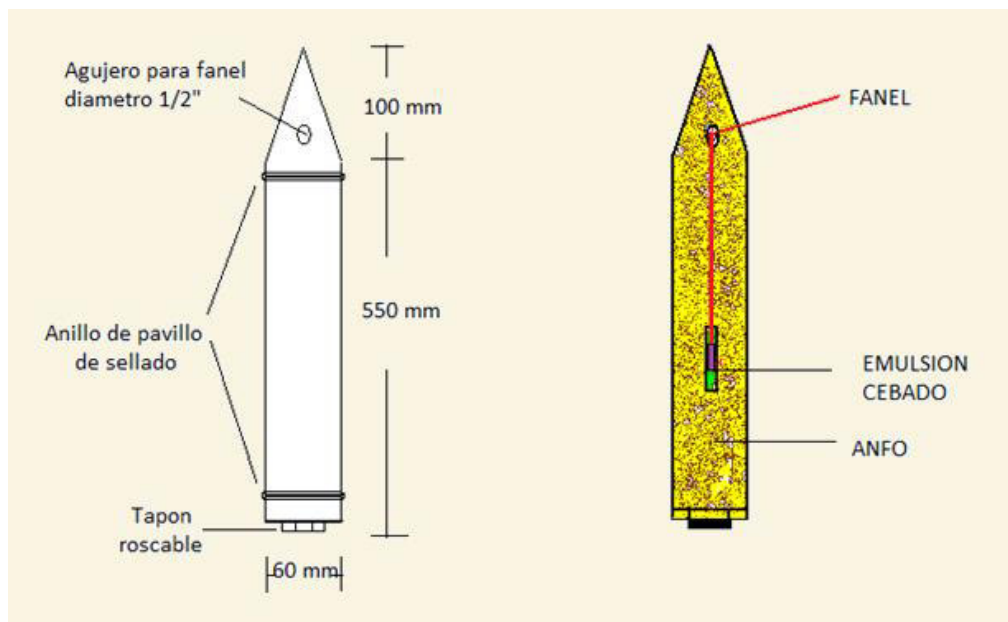
- Tener resistencia a la explosión inicial de empuje, para evitar destruirse cuando la reacción instantánea del explosivo impulsor se genera.

- Tener el tamaño adecuado para llevar la suficiente carga explosiva en su interior como para destruir el punto crítico de atasco en la chimenea.

- No rebotar al avanzar dentro de la chimenea RB y clavarse en la zona campaneada cumpliendo su objetivo.

El diseño final de este elemento importante es la forma cilíndrica, alargada y de punta cónica, hecho de material de tubo de fierro electro soldado, las dimensiones son las siguientes: (Ver Figura No 32)

Altura Total:	650 mm
Altura del cono de la bala:	100 mm
Diámetro del agujero superior de ingreso del fanel:	13 mm
Diámetro exterior del tubo:	60 mm
Espesor del tubo :	1.2 mm



**Figura No 32.-** Diseño practico de la bala explosiva, construido de tubo de fierro electro soldado de 60 mm de diámetro y 1.2 mm de espesor

La longitud de la bala explosiva está determinada por varios factores entre estos: la carga de impulsora y esta a su vez limitada por la resistencia del “cañón” a la explosión de la carga. El espesor de la zona reforzada permite que el dispositivo resista la energía liberada por la carga impulsora.

Se han utilizado varias balas explosivas para obtener un resultado final exitoso en el desatoro de la chimenea C 200, algunas de las cuales fallaron su cometido al rebotar en la pared de la chimenea atorada, La Figura No 33 muestra estos detalles.



**Figura No 33.-** Balas utilizadas en el descampaneo de chimeneas: **A-)** Primera bala de construcción sencilla con la boca abierta, **B-)** Segunda bala de prueba, con excesivo peso y carga explosiva elevada, peso total 8.0 kg. **C-)** Tercera bala y modelo final de peso total 2.5 kilos, **D-)** bala de prueba de longitud 0.80 m y **E-)** Bala fallada por rebote en las paredes de Chimenea.

#### 4.1.5 - El explosivo de la Bala:

El explosivo que se tenía disponible en la mina eran: Anfo, emulsión y dinamitas y para elegir cuál de ellos sería la carga explosiva de la bala se tuvo en cuenta dos particularidades muy importantes como la **sensibilidad** a los golpes repentinos, esto podría ser producto por la manipulación del personal al momento de cargar el dispositivo a la hora del disparo y **La simpatía** del explosivo, esta es una característica muy importante a tener

en cuenta, no se deseaba que la bala explote dentro del “cañón” al momento de activarse la carga impulsora, ante estos detalles se decidió usar Anfo, por ser poco sensible y tener una simpatía mínima respecto a la dinamita además por la facilidad de manipulación al momento de realizar el llenado de la bala.

#### **4.1.6 - Accesorios de Voladura utilizados con el método del Dispositivo lanzador de bala explosiva**

Los Accesorios de voladura utilizados con el método son los siguientes:

**Faneles:** Inicia la carga impulsora, con un retardo de 25 milisegundos y de 500 milisegundos de retardo para la bala explosiva.

Se decide usar estos números debido a la altura que tenía colgado el material atorado. Habiéndose calculado el tiempo aproximado que demora la bala en llegar hasta ese punto y recién explotar , en el caso de la Chimenea C - 200 la altura de carga atorada era de 50 metros.

Las manguerillas de los Faneles llegan están dentro del dispositivo lanzador y el otro extremo fuera, para enganchar con el cordón detonante, se observó que cuando sucede la explosión de la carga impulsora, la velocidad que toma la bala al salir es tan grande que las manguerillas se cortan instantáneamente, estando ya la bala activada.

La velocidad promedio de la bala seria la siguiente:

Se tiene	50.00m altura
Tiempo de llegada	0. 5 segundos
En 1 seg	100m

Entonces seria 6000 m /min y esto es equivalente a **360km /h**

**Cordón detonante:** Este material es un explosivo de alta velocidad, se



emplea para iniciar a los Faneles, de la carga impulsora y de la bala explosiva.

Como se aprecia en la figura No 34 del dispositivo lanzador, el cordón detonante va fuera del mismo, conectado a las manguerillas del fanel.



Figura No 34.- Obsérvese que los Faneles están conectados al cordón detonante y luego a la guía para ser activados con seguridad

**Guía de seguridad:** Este material inicia a los Faneles que se emplean y son de 7 pies de longitud, permitiendo tiempo suficiente para iniciarla y retirarse a los refugios asignados para el disparo.

#### **4.1.7 – Procedimiento Operativo**

Se describe el procedimiento, del trabajo a realizar en forma segura para realizar el disparo con el dispositivo lanzador de bala explosiva, para ello se tiene un PETS, que se usó en la Unidad Minera Huanzala (ver anexo Pets: Descampaneado de Chimeneas RB Utilizando Dispositivo Lanzador de Bala Explosiva)

##### **4.1.7.1 - Preparación de la carga de la bala explosiva:**

Se realiza el cebado de la emulsión con un Fanel, introduciendo primero el fulminante por el agujero de la cabeza de la bala y hacerlo salir por la base, seguidamente se arma la emulsión y se jala hacia adentro del recipiente centrándola y luego se procede a llenar de Anfo el recipiente de la bala desde la base y al llenarse se cierra herméticamente con la tapa roscada. (Ver Figura No 35)



**Gráfico 35.-** Posición de carguío de la bala explosiva, obsérvese que el fanel sale por la cabeza de esta.

##### **4.1.7.2 - Preparación de la carga Impulsora:**

Se mezcla Anfo, aserrín en una relación aproximada de 2 a 1 (1 kilo de Anfo y 0. 6 kilos de aserrín) y petróleo, (200 ml) se mezclan estos componentes lo más homogénea posible y se acondiciona en un molde de



papel de forma cilíndrica cuyo diámetro será ligeramente menor al diámetro interior del dispositivo lanzador, esta carga impulsora se debe agregar un cebo, compuesto de una emulsión y Fanel de mínimo retardo (25 msg). El cebo inicia la detonación en la carga impulsora.

#### **4.1.7.3 - Carguío del cañón:**

Debido a que el dispositivo lanzador es hueco, se tiene que rellenar con un “taco” en la sección que corresponde al pie del Cañón y que solo sirve de apoyo al dispositivo. El material que se usa es una mezcla de arcilla y papel comprimido que se encontró tiene propiedades compresibles, o efecto amortiguador a la hora del disparo, para evitar que el cañón salte demasiado por el efecto de la reacción.

Esta preparación se realiza en las cercanías de la chimenea. Se coloca un tapón de papel de bolsa de cemento, ingresándolo por el pie del cañón, hasta hacerlo llegar al límite interno entre la cámara reforzada y el inicio del pie con una longitud de 0.70 m, bien atacado, luego se añade arcilla 0.40 m y finalmente un taco de papel.

Por el otro extremo (la zona de salida de la bala), se introduce un taco de papel de 0.10 m hasta el fondo de la cámara reforzada, se introduce la carga impulsora. Esta ya está cebada y se hace salir el Fanel por la boca del dispositivo, se añade un pequeño taco de papel de 0.05 m. y luego se introduce la bala explosiva, ayudado con un atacador de madera, cuidando no malograr el Fanel de la bala, se ayuda untando la bala con grasa abundantemente, que además sirve de sello inicial al producirse la explosión de impulso. En este punto el cañón se halla listo para ser disparado.

#### **4.1.7. 4 – Posicionamiento del Dispositivo Lanzador de Bala Explosiva**

Es una etapa muy importante que toma no más de 15 minutos debajo de la chimenea. Con la ayuda de un Anfotruck (anfoloader) se coloca al

cañón en el punto determinado, y con el Bipie Móvil del cañón, se da el ángulo de inclinación deseado. Se empalma el cordón detonante con los Faneles, finalmente se amarra la guía de seguridad y el sistema está listo para iniciar el disparo similar como el disparo de un frente.

#### **4.1.8 – Resultados**

La chimenea C 200, Nivel P – 100 Huanzala Principal, se encontraba atorada con materiales de labores antiguas, las cuales se estaba ampliando, para mecanizar la zona. El operador del Scoop de 6 yardas, no escogió los escombros, introdujo carga con restos de cuadros de madera y grandes bloques de roca, además el material era muy panizado.

La chimenea C – 200 había sido llenada totalmente, quedando una columna de 75 metros colgada a una altura de 45 m. del pie de esta. Cuando se disparó por cuarta vez el cañón, se le puso una bala explosiva que llevaba consigo 1.5 kilos de Anfo, aproximadamente con un retardo de 500 milisegundos, el cual cumplió con su propósito haciendo caer toda la carga en cuestión. (Ver anexo 11)

Cabe destacar que se hicieron 3 disparos previos, los cuales no tuvieron resultados esperados; sin embargo al realizarse el último, se logró desatorarla. Los trabajos de construcción, prueba y disparo de desatoro final se hizo contando con el apoyo del personal de la misma guardia de trabajo cotidiano, cumpliendo sus funciones normales y dándose tiempo extra para realizar este estudio. (Ver anexo 12)

#### **4.1.9 – Trabajo de desatoro en la chimenea 1350 Unidad Palca**

En el mes de Setiembre del 2012 se realizó ***un disparo*** en la chimenea 1350 en la unidad Palca, que se encontraba con material estéril de granulometría gruesa (4 a 10 pulgadas) este disparo se efectuó con el dispositivo lanzador de bala explosiva y logro bajar aproximadamente 2 toneladas de dicho material, esperándose, realizar más disparos, sin

embargo se lanzó una plasta por la cabeza de la chimenea y cayó el resto de material.

Cabe destacar que en esta chimenea se efectuaron pruebas de <sup>\*</sup>otro método de desatoro, el cual había hecho caer más del 80% de la carga atorada (el material atorado llenaba una columna de 25 metros), El atoro se hallaba a una altura de 62 metros y entre los materiales del atoro, se encontró grande bancos y restos de pernos helicoidales que se usan para sostenimiento.

#### **4.1.10 – Trabajo de desatoro en la chimenea 4740 Unidad Pallca**

En el mes de agosto del 2012 se realizaron **17 disparos**, en la chimenea 4730, en la Unidad Pallca, con el dispositivo lanzador de bala explosiva, esta labor se hallaba atorada con mineral de granulometría muy fina, aun llegando al tamaño menor de 2 mm en un buen porcentaje de la carga total, la altura del atoro supera los 90 m y una columna de carga de aproximadamente 45 metros.

En esta chimenea, cada disparo se hizo en menor tiempo de exposición debajo de ella hasta un mínimo de 3 minutos, debido a que el dispositivo se encontraba posicionado y cada disparo no variaba su posición angular dirigida hacia el centro del atoro a 90 metros arriba, solo se necesitaba introducir la carga impulsora luego la bala y el amarre de inicio se hacía fuera de la chimenea.

#### **4.1.11 – Resultados de los trabajos de desatoros chimenea 4740**

##### **Unidad Pallca**

Durante los disparos a esta chimenea, solo se pudo apreciar que caen pequeñas cantidades de material fino, no más de 5 kilos por disparo y pocos restos de la metralla de la bala explosiva (material de la bala destruida), gran parte de la bala explosionada queda dentro del material atorado.

*\* El otro método usado para desatorar se denomina "Cándor" dispositivo fabricado en la Unidad Pallca que funciona con aire comprimido y que está en perfeccionamiento*

La experiencia de estos 17 disparos, permitió reconocer el comportamiento de un material distinto, que atora a una chimenea y reconocer así los limitantes del dispositivo lanzador de bala explosiva.

## **4.2 Características técnicas de los elementos del método**

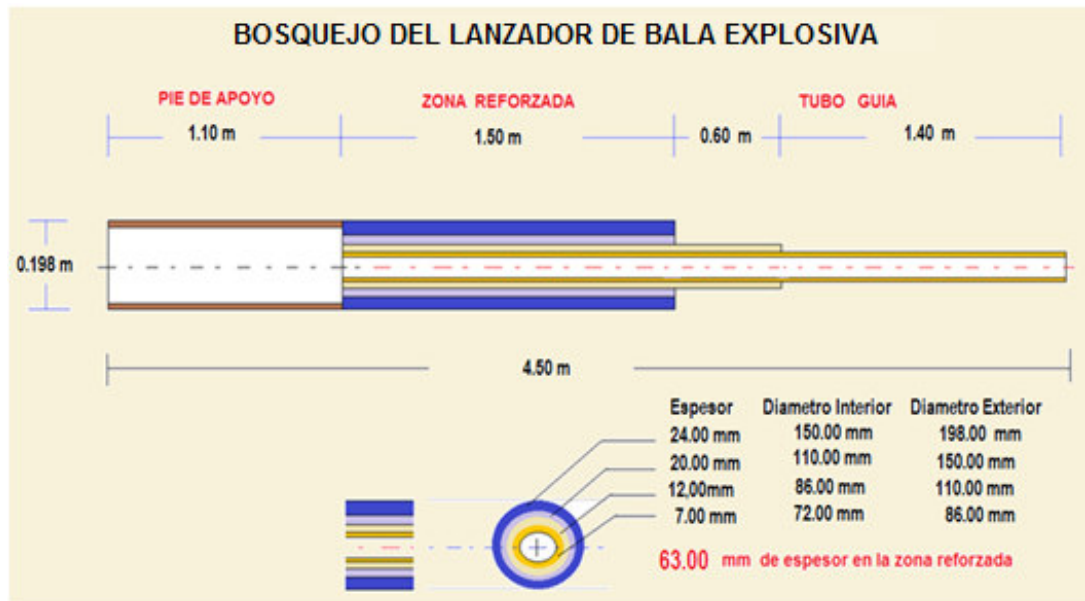
Se hace una relación lo más detallada posible de cada elemento fundamental del método de descampaneo de chimeneas de gran longitud, utilizando el dispositivo lanzador de bala explosiva

### **4.2.1 Dimensiones y Peso del dispositivo lanzador**

El dispositivo lanzador de bala explosiva, está construido de tubos de fierro dulce superpuestos, de distintos diámetros y espesores, con una longitud total de 4.50 m con un diámetro mínimo de 76 mm y máximo 86 mm en la punta (tubo guía); el diámetro externo es de 198 mm de diámetro exterior en la zona central que es la zona reforzada, donde el espesor del tubo es de 59 mm y de igual diámetro exterior en el extremo que sirve de pie; pero con un espesor de 13 mm. El diámetro interior del “*anima*” desde la zona reforzada hasta la punta guía es de 76 mm, que es donde la bala explosiva se aloja para ser lanzada.

Para calcular el peso total del dispositivo lanzador de bala explosiva se ha dividido en 4 secciones, debido a que los espesores son distintos a lo largo del dispositivo así se tiene (Ver Figura No 36)

<b>Sección</b>	<b>Longitud</b>	<b>Diámetro exterior</b>	<b>Espesor</b>
1	110 cm	198 mm	13 mm
2	150 cm	198 mm	59 mm
3	60 cm	110 mm	19 mm
4	140 cm	86 mm	7mm



**Figura No 36.-** Dimensiones de los diferentes tubos empleados para dar un blindaje máximo en la zona reforzada, y mínima en los extremos.

Perímetro de un cilindro

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r = \pi \cdot d$$

Área del rectángulo del material

$$A = a \times b$$

Volumen del tubo del Cañón

$$V = a \times b \times c$$

c = espesor

Masa

$$M = V \times \delta$$

Donde  $\delta$  es la densidad del material

Se calcula el volumen que tiene el envoltorio desarrollado de cada sección del Cañón

$$\text{Area 1: } 6842.4048 \text{ cm}^2$$

$$V = 6842.4048 \text{ Cm}^2 \times 1.3 = 8895.12624 \text{ cm}^3$$

$$\text{Area 2: } 9330.552 \text{ cm}^2$$

$$V = 9330.552 \text{ Cm}^2 \times 5.9 = 55050.2568 \text{ cm}^3$$

$$\text{Area 3: } 2073.456 \text{ cm}^2$$

$$V = 2073.456 \text{ Cm}^2 \times 1.9 = 3939.5664 \text{ cm}^3$$

$$\text{Area 4: } 3782.4864 \text{ cm}^2$$

$$V = 3782.4864 \text{ Cm}^2 \times 0.7 = 2647.70048 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen Total} = 70532.68992 \text{ cm}^3$$

$$\delta_{\text{hierro dulce}} = 7.87 \text{ gr/cm}^3$$

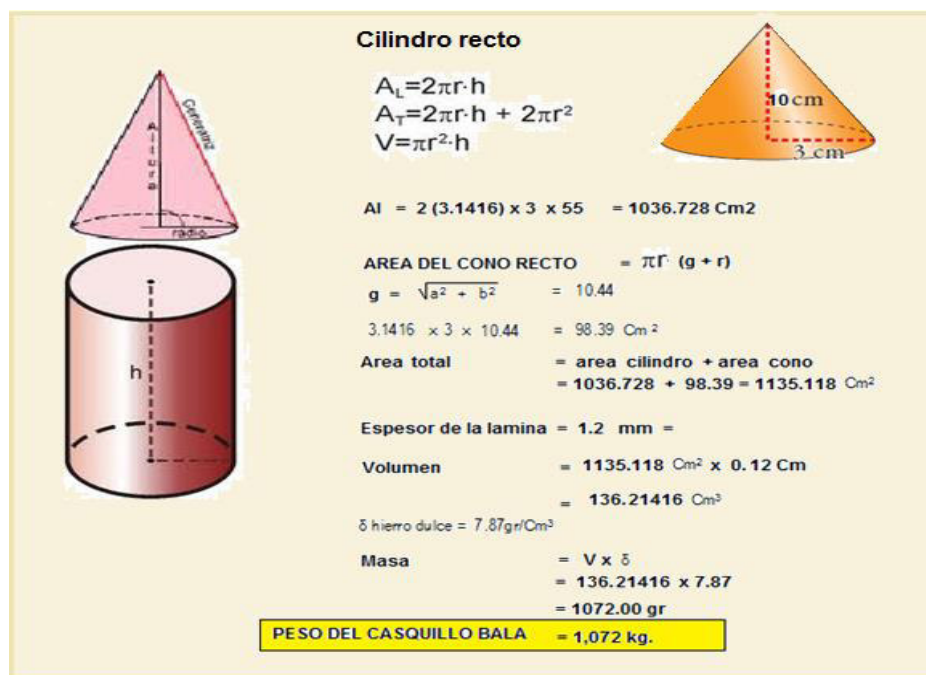
$$\text{Masa} = V \times \delta =$$

$$70532.68992 \text{ cm}^3 \times 7.87 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso del dispositivo lanzador} = 555,092.26967 \text{ gr. EQUIVALENTE A : } 555.09 \text{ Kg}$$

#### 4.2.2 Dimensión y Peso de la bala Explosiva

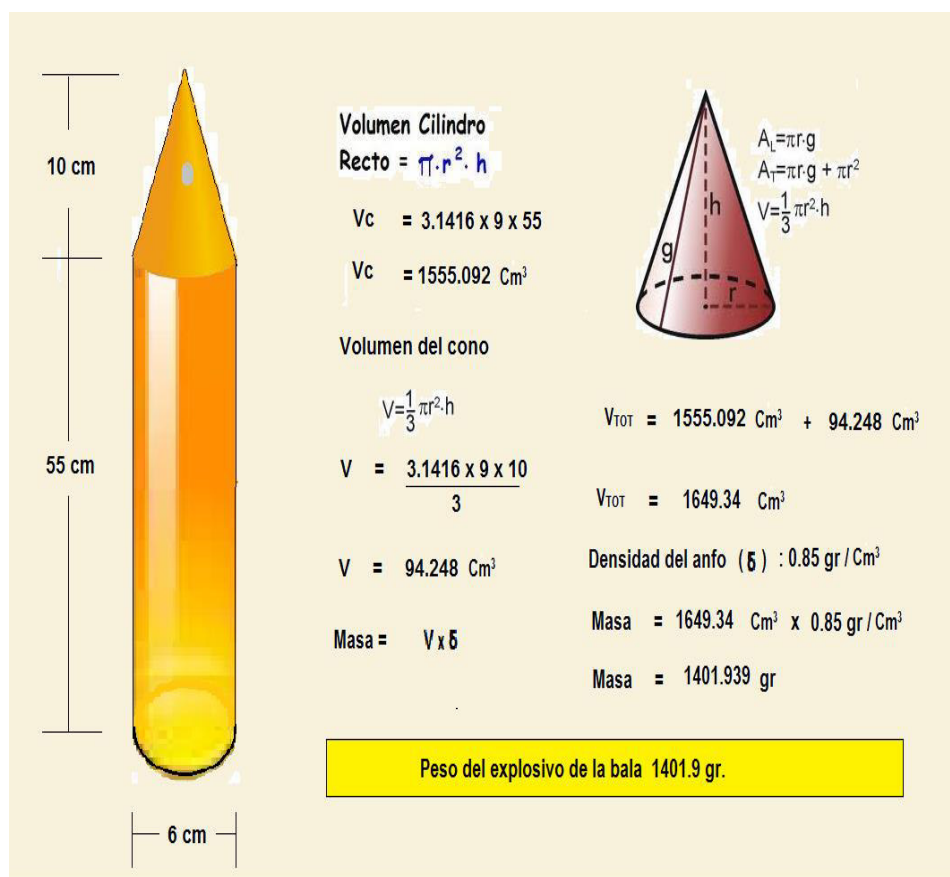
La bala explosiva está construida de tubo electro soldado de 60 mm de diámetro y 1.2 mm de espesor, la sección recta es de 550 mm de longitud terminando en un cono recto, de diámetro semejante al cilindro y una altura (h) de 100 mm. La figura No 36 presenta los detalles del cálculo del peso. Figura 37



**Figura No 37.-** Cálculo del peso del casquillo de la bala explosiva.

#### 4.2.3 Peso del explosivo de la bala

La bala explosiva tiene una longitud recta de de 55.0 cm recta, con un cono de 10 cm. de alto su diámetro. Su diámetro es de 60 cm, la densidad del Anfo utilizado para cargar la bala es de 0.85 gr/cm<sup>3</sup> (Examon V) El cálculo del peso de la carga explosiva de la bala se detalla en la Figura No 38



**Figura No38.-** Calculo de la cantidad de explosivo que lleva la bala.

Peso Total de la Bala Cargada:

Peso del envase metálico: **1.072 kg.**

Peso de la carga explosiva: **1.402 kg.**

**Peso total de la bala cargada 2.474 kg.**

#### 4.2.4 Densidad de la carga impulsora (ci)

La carga impulsora está compuesta de 1000 gr de Anfo, Aserrín de Madera de Eucaliptus 2 a 1 respecto al Anfo en volumen y petróleo 200 ml. Esta mezcla explosiva tiene una densidad distinta al explosivo inicial por lo que es necesario determinarlo, con los siguientes datos:

Anfo	$\delta$ : 0.85 gr/cm <sup>3</sup>	M: 1000.00 gr.	V: 1176.47 cm <sup>3</sup>
Aserrín	$\delta$ : 0.21 gr/cm <sup>3</sup>	M: 588.24 gr.	V: 2352.94 cm <sup>3</sup>
Petróleo	$\delta$ : 0.75 gr/cm <sup>3</sup>	M: 150 gr.	V: 200 cm <sup>3</sup>

$$M_{\text{Total}} = 1738.24 \text{ gr}$$

$$\delta_{\text{MEZCLA}} = 1738.24 \text{ gr} / 3729.41 \text{ cm}^3 = 0.46613 \text{ gr/cm}^3$$

$$V_{\text{Total}} = 3729.41 \text{ cm}^3$$

$$\delta_{\text{MEZCLA}} = 0,46613 \text{ gr/ cm}^3$$

#### 4.2.5 Parámetros Termoquímicos del Explosivo Utilizado en el Método

Los parámetros que a continuación se han calculado, se ha tomado de la teoría de explosivos del manual práctico de voladura de Exsa

Los parámetros termoquímicos más importantes de un proceso de reacción de un explosivo son: Presión, calor de explosión, Balance de oxígeno, volumen de gases, temperaturas de explosión y energía disponible.

##### 4.2.5.1 Presión de detonación (PD)

Expresado en kilobares (kbars) o en mega pascales (Mpa), siendo el valor variable entre los explosivos comerciales de 500 y 1500 Mpa, para calcular este valor de acuerdo a la teoría Hidrodinámica se tiene que el valor práctico es:

$$PD = \rho_e \times VOD \times W \times 10^{-5} \quad (1)$$

**Dónde:**

PD: presión de detonación en kbars

$\rho_e$ : densidad del explosivo, en g/cm<sup>3</sup>

VOD: velocidad de detonación, en m/s

W: velocidad de partícula (productos) en m/s

$10^{-5}$  : factor de conversión



Se sabe que el plano “**CJ**” se mueve a muy alta velocidad y la velocidad de los productos es mucho más lento alcanzando un valor de 0.25 del VOD, lo que nos lleva a un valor experimental de:

$$W = 0.25 \text{ VOD} = \text{VOD} / 4$$

Reemplazando en (1), se tendrá la siguiente formula práctica:

$$PD = \rho_e \times (\text{VOD}/4)^2 \times 10^{-5} \quad (2)$$

Para cálculos prácticos se usara esta fórmula la cual se acerca al valor teórico. (\*)

La presión de detonación que genera la carga experimental que sirve como **impulsor** puede calcularse usando los siguientes datos:

Anfo combinado con aserrín en una relación Aserrín/ Anfo = 2: 1,

$$\rho_e = 0.4924 \text{ g/cm}^3 \quad PD = 0.46613 \times \left(\frac{200}{4}\right)^2 \times 10^{-5} = 4.6613 \text{ kbar}$$

$$\text{VOD} = 2000 \text{ m/s} \quad PD = 0.46613 \times \left(\frac{200}{4}\right)^2 \times 10^{-3} = 466.13 \text{ Mpa}$$

*\*Debe de tenerse en cuenta que la relación constante  $W = (\text{VOD}/4)$  fluctúa el divisor como una constante entre 3,4 y 5,8 y con valores frecuentes entre 4, 2 y 4.5*

**Presión de detonación de Carga Impulsora = 4.6613 kbar o 466.13 Mpa**

$$* \text{ Presión de detonación Anfo: } PD = 0.90 \times \left(\frac{2000}{4}\right)^2 \times 10^{-5} = 17.64 \text{ kbar}$$

$$PD = 0.90 \times \left(\frac{2000}{4}\right)^2 \times 10^{-3} = 1764 \text{ Mpa}$$

#### 4.2.5.2 – Presión de explosión (PE)

Es la presión de los gases producidos por la detonación cuando estos ocupan el volumen del explosivo. Una aproximación muy aceptada es que esta presión equivale al 50% de la presión de detonación.

En el presente caso para nuestro explosivo será la siguiente:

$$PE = 0,5 \text{ PD}$$

$$PE = 0.5 \times 4.6613 = 2.33065 \text{ kbar}$$

$$\text{Presión de explosión de la Carga Impulsora} = 2.33065 \text{ kbar}$$

$$* \text{ Presión de Explosión Anfo: } PE = 0.5 \times 17.64 = 8.82 \text{ Kbar}$$

#### 4.2.5.3 – Presión de Taladro o de Trabajo (PT)

Es la presión que ejercen los gases sobre las paredes del taladro (en nuestro caso, la presión que ejerce los gases sobre las paredes internas del dispositivo lanzador)

Para gran número de explosivos se ha concluido que la presión de trabajo se aproxima a la siguiente ecuación:

$$PT = PE \times dc^{2.5}$$

Dónde:

dc : densidad de carguío

Luego la presión de trabajo de nuestro explosivo será:

$$PT = 2.33065 \text{ kbar} \times (0.95)^{2.5} = 2.05015 \text{ kbar}$$

$$\text{La Presión de Trabajo de la Carga Impulsora} = 2.05015 \text{ kbar}$$

\*Se anota también los cálculos de los parámetros del Anfo al pie, para ver la comparación con los de la carga impulsora

Esta es la Presión que se utilizara para calcular la resistencia del material que conforma la cámara reforzada del dispositivo lanzador de bala explosiva y así determinar el espesor mínimo que debe de tener sin que se dañe teóricamente este, además, permitirá realizar los cálculos para dar un factor de seguridad de trabajo del dispositivo.

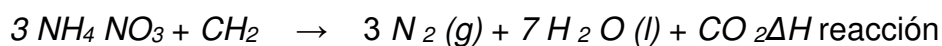
\*Presión de trabajo del Anfo:  $8.82 \text{ kbar} \times (0.95)^{2.5} = 7.7585 \text{ kbar}$

#### 4.2.5.4 – Calor de Explosión

El cálculo del **calor de explosión** permite conocer la energía liberada del Anfo normal. Con esta información se estimara el calor de explosión de la muestra de prueba para verificar si los rangos indicados del Anfo decrecen o son menores en la mezcla mencionada.

Reacción química del Anfo:

Ecuación balanceada da (1):



$$3 \Delta H \text{N}_2 (\text{g}) + 7 \Delta H \text{H}_2 \text{O} (\text{l}) + \Delta H \text{CO}_2 (\text{g}) \Delta H \text{NH}_4 \text{NO}_3 - \Delta H \text{CH}_2$$

**Datos:**

$$\Delta H \text{N}_2 (\text{g}) = 0 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H \text{H}_2 \text{O} (\text{l}) = -57, 8 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H \text{CO}_2 (\text{g}) = -94, 1 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H \text{NH}_4 \text{NO}_3 = - 87,3 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H \text{CH}_2 = - 7 \text{ Kcal}$$

Reemplazando:

$$\Delta H \text{reacción} = 3 (0 \text{ Kcal}) + 7 (-57, 8 \text{ Kcal}) + (-94, 1 \text{ Kcal}) - 3 (- 87,3 \text{ Kcal}) - (- 7 \text{ Kcal})$$

$$\Delta H \text{ reacción} = - 229,8 \text{ Kcal}$$

En la reacción (1) se tiene un peso molecular de:

$$3 \text{ NH}_4 \text{ NO}_3 + \text{CH}_2 = 3 \text{ mol} \times 80,1 \text{ g} + 1 \text{ mol} \times 14 \text{ g} = 254,3 \text{ g de Anfo}$$

**Luego  $\Delta H$  de la reacción (1)**

- 229,8 Kcal  $\rightarrow$  254,3 g de Anfo, Para un Kilogramo será:

$$\Delta H \rightarrow 1000 \text{ g} \quad Q_{kp} = \frac{229,8 \text{ kcal}}{254,3 \text{ g}} \times 1000 \text{ g/kg} =$$

$$\Delta H = - 903,7 \text{ Kcal}$$

Esto como valor práctico, pero para referencias más exactas se tendrá en cuenta que el calor a presión constante no es de importancia ya que el proceso de detonación tiene lugar a volumen constante (Exsa 2000) Para calcular este último valor es necesario incrementar el calor a presión constante con el consumido en la expansión adiabática.

$$Q_{mv} = Q_e + 0,58 \times N_{pg}$$

**Donde:**

$N_{pg}$  : número de moles de productos gaseosos

Y si en vez de calor desprendido por mol se requiere el correspondiente a un kilogramo de explosivos se tendrá:

$$Q_{mv} = 229,8 + (11 \times 0,58) = 236,18 \text{ kcal/mol}$$

$$Q_{kv} = \frac{236,18 \times 1000}{254,3} = 928,74 \text{ kcal/kg}$$

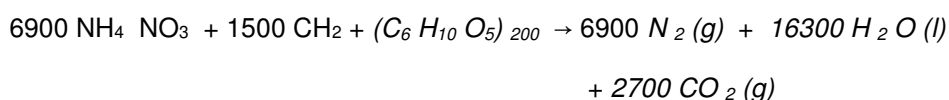
Un kilogramo de Anfo genera	928,74 kcal
-----------------------------	-------------

### Calor de explosión de la mezcla nueva (Anfo /Aserrín)

Los reactivos de la mezcla de prueba (2) se calculan con los siguientes datos:

Anfo	1000 gr.	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CH}_2$
Petróleo	200 ml.	$\text{CH}_2$
Aserrín	500 gr.	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_{200}$

Y la Ecuación balanceada de la reacción (2) es:



La Energía liberada será:

$$\Delta H_f = n \sum \Delta H_{\text{productos}} - n \sum \Delta H_{\text{reactantes}}$$

$$6900 \Delta H_{\text{N}_2} + 16300 \Delta H_{\text{H}_2 \text{ O}} + 2700 \Delta H_{\text{CO}_2} - 6900 \Delta H_{\text{NH}_4 \text{ NO}_3} - 1500 \Delta H_{\text{CH}_2} - \\ \Delta H_{(\text{C}_6 \text{ H}_{10} \text{ O}_5)_{200}}$$

$$6900 \times 0 + 16300 \times -57,8 + 2700 \times -94,1 + 6900 \times 87,3 + 1500 \times 7 - (-232670) *$$

$$\text{Reacción balanceada (2)} = \quad - \quad \mathbf{350670 \text{ Kcal}}$$

Masa del Anfo en la reacción de problema (2) con peso molecular:

$$6900 \times 80,1 + 1500 \times 14 = 573000 \text{ gr.}$$

Por lo tanto el  $\Delta H$  para 1000 gr de mezcla de explosivo será:

$$\frac{1000 \text{ gr}}{57300} \times 350670 \text{ kcal} = \mathbf{611,99 \text{ Kcal}}$$

Con lo cual el calor de explosión del Anfo inicial disminuye al adicionar el aserrín en un **32,28%** (903.7 kcal/kg a presión constante)

A volumen constante será:

$$Q_{mv} = Q_e + 0,58 \times N_{pg}$$

**Dónde:**

$N_{pg}$  : número de moles de productos gaseosos

Y si en vez de calor desprendido por mol se requiere el correspondiente a un kilogramo de explosivos se tendrá de la reacción 2:

$$Q_{kv} = \frac{Q_{mv} \times 1000}{PM}$$

$$Q_{mv} = 350670 + (25900 \times 0,58) = 365692 \text{ kcal/mol}$$

$$Q_{kv} = \frac{365692 \times 1000}{573000} = 638.20 \text{ kcal/kg}$$

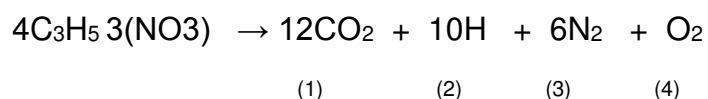
<b>Calor de explosión de un kilogramo de Anfo Con Aserrín genera 638.20 kcal/ kg</b>
--

Esto muestra que la nueva mezcla explosiva tiene menor calor de explosión que el Anfo en un 31.3 %

#### 4.2.5.5 – Volumen de Explosión

Es el volumen que ocupan los gases producidos por un kilogramo de explosivo en condiciones normales. El volumen o mol de la molécula – gramo de cualquier gas, en condiciones normales es 22,4 litros.

Para el caso de la nitroglicerina como ejemplo se tiene



La explosión de Nitroglicerina genera: 12 + 10 + 6 + 1 = 29

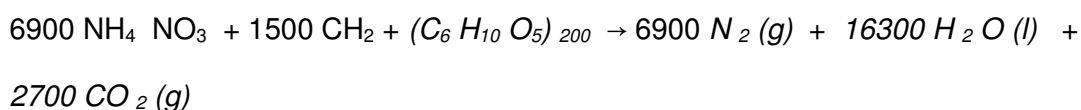
$29 / 4 = 7.25$  gr.- mol de productos gaseosos a  $0^\circ\text{C}$  y a presión atmosférica, por lo que el volumen de explosión será:

$$7.25 \text{ gr} - \text{mol} \times 22.4 \text{ litro/gr-mol} = 162.4 \text{ litros}$$

A una temperatura mayor el volumen de gases aumenta de acuerdo a la “Ley de Gay – Lussac”, así para el ejemplo, considerando un incremento de  $15^\circ\text{C}$  se tendrá:

$$162.4 \times \frac{283}{273} = 168.35 \text{ litros}$$

**Para la mezcla Anfo-Aserrín se tiene :**



Entonces la explosión de la mezcla Anfo /Aserrín genera:

$$(6900 + 16300 + 2700 = 25900)$$

$25900 / 3 = 8633.33$  gr.- mol de productos gaseosos a  $0^\circ\text{C}$  y a presión atmosférica, por lo que el volumen de explosión será:

$$8633.33 \text{ gr} - \text{mol} \times 22.4 \text{ litro/gr-mol} = \mathbf{193,386.59 \text{ litros}}$$

A una temperatura mayor el volumen de gases aumenta de acuerdo a la “Ley de Gay – Lussac”, así para nuestro caso considerando un incremento de  $15^\circ\text{C}$  se tendrá:

$$193386.59 \times \frac{283}{273} = \mathbf{200,470.35 \text{ litros}}$$

Esto es el equivalente de 573,000 gr de carga explosiva según la ecuación 2 y en un kilo de esta se tendrá:

$$\frac{0470.35 \times 1000}{573000} = \mathbf{349.86 \text{ litros}} \text{ de gases}$$

El Volumen de gases producidos en la expansión de un kilogramo de Anfo/Aserrín es de: 349.86 Litros

#### **4.2.5.6 – Energía Mínima disponible (We)**

Es la cantidad de trabajo que realizan los productos gaseosos de una explosión cuando la presión permanece constante en 1 atmósfera.

En su forma más simplificada la ecuación diferenciada para el trabajo de expansión (We) a presión constante (P) es:

$$\mathbf{We = P \times (V_2 - V_1)}$$

Donde:

We : Trabajo de expansión

P : Presión resistente (1 atm)

V<sub>1</sub> : Volumen de explosivo

V<sub>2</sub> : Volumen de los gases de la explosión

Como el volumen V<sub>1</sub> es despreciable frente al de los gases producidos, la cantidad de trabajo disponible viene dada por:

$$\mathbf{We = P \times V_2}$$

Para nuestro caso la mezcla Anfo/aserrín al sustituir en la ecuación se tiene:

$$We = 1 \text{ atm} \times 349.86 \text{ litros} = 349.86$$



$$W_e = 1 \times 349.86 \times 10.23 = 3,579 \text{ kg x m}$$

Energía mínima de trabajo disponible: 3,579 kg. m

#### 4.2.6 Cálculo de la resistencia del material del Dispositivo

##### Lanzador de bala explosiva

Para hallar los valores requeridos se procede al cálculo empleando la teoría de tubos de pared gruesa (**Tosone, Hugo A.; Anca, Andrés** 1981. Tubos de pared gruesa”) ver Anexo 9

##### 4.2.6.1 Tubo sometido solamente a presión interna (Pi)

Fuerzas externas:  $p_i \neq 0$   $p_e = 0$

Condiciones de contorno para  $r = a$  es:  $\sigma_r = p_i$

Para  $r = b$  es:  $\sigma_r = 0$

1- La tensión tangencial será igual a:

$$\sigma_{\theta} = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{b^2}{r^2} + 1 \right)$$

2- La tensión radial será igual a:

$$\sigma_r = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{b^2}{r^2} - 1 \right)$$

Por ser  $r = b$ ,  $\sigma_{\theta}$  y  $\sigma_r$  resultan positivas, que implica  $\sigma_{\theta}$  de tracción y  $\sigma_r$  de compresión.

En las expresiones 1 y 2 el radio “r” opera en el denominador, por lo tanto las tensiones  $\sigma_{\theta}$  y  $\sigma_r$  serán máximas para el menor valor de r ( $r = a$ ) y mínimas para el mayor valor ( $r = b$ )

- La presión interna ( $P_i$ ), es la presión de explosión = 233.065 Mpa

#### 4.2.6.2 Tensión Tangencial ( $\sigma_\theta$ )

$$\sigma_\theta = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{b^2}{r^2} + 1 \right)$$

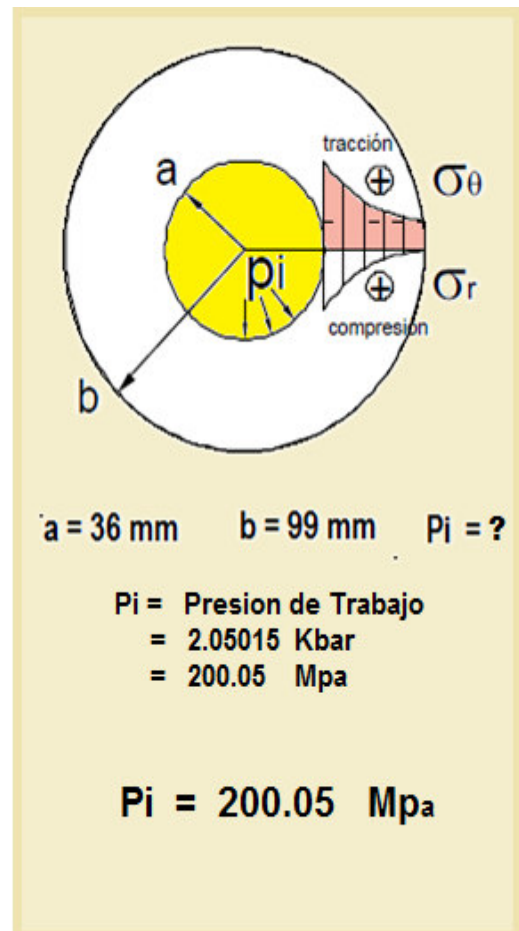
$$\sigma_\theta = 200.05 \text{ Mpa} \cdot \frac{(36 \text{ mm})^2}{(99 \text{ mm})^2 - (36 \text{ mm})^2} \left( \frac{(99 \text{ mm})^2}{(36 \text{ mm})^2} + 1 \right)$$

$$\sigma_\theta = 200.05 \text{ Mpa} \cdot \frac{1296 \text{ mm}^2}{(9801 \text{ mm}^2 - 1296 \text{ mm}^2)} \left( \frac{9801 \text{ mm}^2}{1296 \text{ mm}^2} + 1 \right)$$

$$\sigma_\theta = 200.05 \text{ Mpa} \cdot \frac{1296 \text{ mm}^2}{8505 \text{ mm}^2} \left( 8.5625 \right)$$

$$\sigma_\theta = 30.4838 \left( 8.5625 \right)$$

$$\sigma_\theta = 261.0176 \text{ N} \quad \text{TRACCION}$$



#### 4.2.6.3 Tensión radial ( $\sigma_r$ )

$$\sigma_r = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{b^2}{r^2} - 1 \right)$$

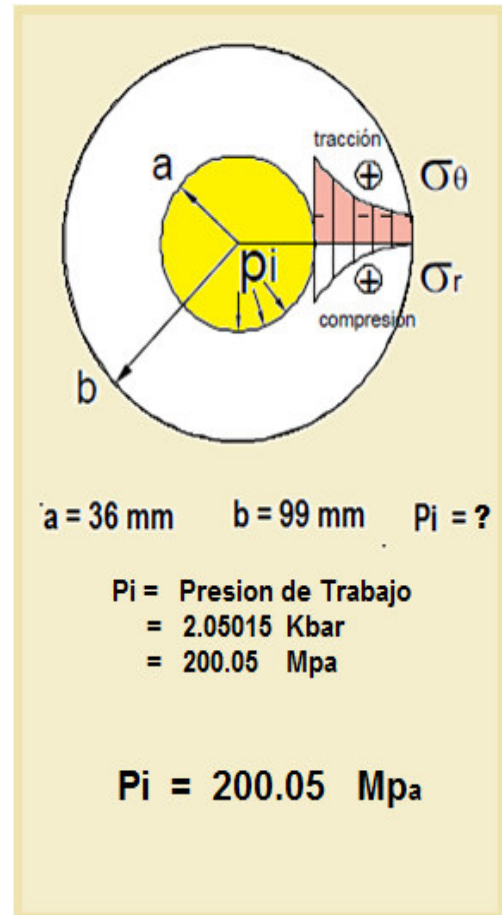
$$\sigma_r = 200.05 \text{ Mpa} \cdot \frac{(36 \text{ mm})^2}{(99 \text{ mm})^2 - (36 \text{ mm})^2} \left( \frac{(99 \text{ mm})^2}{(36 \text{ mm})^2} - 1 \right)$$

$$\sigma_r = 200.05 \text{ Mpa} \cdot \frac{1296 \text{ mm}^2}{(9801 \text{ mm}^2 - 1296 \text{ mm}^2)} \left( \frac{9801 \text{ mm}^2}{1296 \text{ mm}^2} - 1 \right)$$

$$\sigma_r = 200.05 \text{ Mpa} \cdot \frac{1296 \text{ mm}^2}{8505 \text{ mm}^2} \left( 6.5625 \right)$$

$$\sigma_r = 200.05 \left( 1 \right)$$

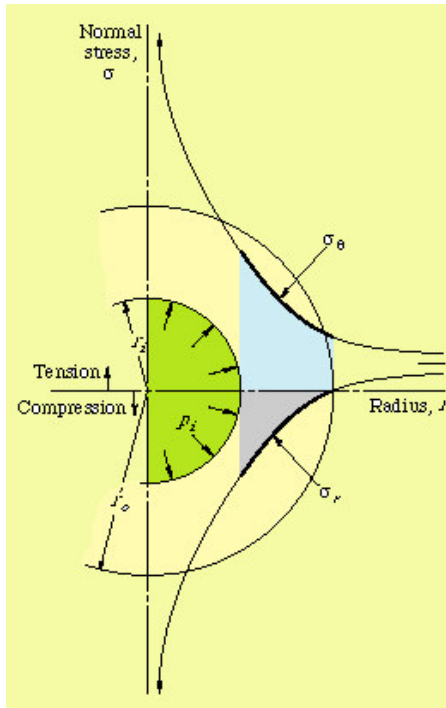
$$\sigma_r = 200.05 \text{ N} \quad \text{COMPRESION}$$



$$1 \text{ Mpa} = 1 \text{ NEWTON}$$

#### 4.2.6.4 Cálculo del espesor del tubo (e)

$$e = \frac{p \times D}{2 \sigma - p}$$



**Donde:**

**e:** Espesor

**p :** Presión interior

**$\sigma$ :** Esfuerzo máx.

**D:** Diámetro Int.

**p:** 200.05 Mpa

**$\sigma$  :** 261.0176 Mpa

**D:** 72 mm

$$e = \frac{200.05 \text{ Mpa} \times 72 \text{ mm}}{2 (261.0176 \text{ Mpa}) - 200.05 \text{ Mpa}}$$

$$e = \frac{200.05 \text{ Mpa} \times 72 \text{ mm}}{321.9852 \text{ Mpa}}$$

$$e = \frac{14,403.6 \text{ mm}}{321.9852}$$

$$e = 44.734 \text{ mm}$$

\*El espesor calculado es de 44.7 mm y se tiene un espesor real de 63 mm, lo que excede en un 41 % al espesor calculado.

#### 4.2.6.5 Factor de seguridad (F)

$$F = \frac{\text{Resistencia real}}{\text{Resistencia Requerida}}$$

$$\frac{\text{Fuerzas que resisten expansion}}{\text{fuerzas que tienden a expandir}}$$

#### DATOS:

Estado	Resistencia Máxima a la tensión	Resistencia a la Compresión
*Hierro Dúctil 80-55-06 recocido	<b>565 Mpa</b>	<b>386 Mpa</b>

#### Factor de Seguridad

TENSION TANGENCIAL ( $\sigma_\theta$ ): 261.0176 Mpa Tracción

TENSION RADIAL ( $\sigma_r$ ): 200.05 Mpa Compresión

$$F_{(\sigma_\theta)} = \frac{565 \text{ Mpa}}{261.0176 \text{ Mpa}}$$

$$F_{(\sigma_\theta)} = 2.16$$

$$F_{\sigma_r} = \frac{386 \text{ Mpa}}{200.05 \text{ Mpa}}$$

$$F_{\sigma_r} = 1.93$$

\* Ver tabla en el anexo 12 “Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de hierro y acero

### 4.3 Evaluación comparativa

Los métodos que se han presentado en este trabajo inclusive el nuevo método con el dispositivo lanzador de bala explosiva, se pueden diferenciar entre ellos por los costos que generan, además del riesgo de accidente asociado a la exposición en cada método.

Se hace únicamente mención a los costos que se generan en mina, los costos directos que implican cada método, no se incluyen, aquellos costos administrativos, transporte, etc.

#### 4.3.1 Plasteo de la carga desde la cabeza de la chimenea

Cuando la carga esta visible en la cabeza de la chimenea 3 trabajadores y un supervisor trabajan en este método, la persona que está encima de la chimenea lleva puesto el arnés de seguridad más dos línea de vida.

Se suele colocar como carga explosiva 12 kilogramos de Anfo enterrados en un agujero dentro la carga de la chimenea, esta se inicia con dos cartuchos de dinamita que a su vez lo inicia el cordón detonante (10.0 m) y dos guías de seguridad armadas de 6 pies.

El tiempo de exposición del personal sobre la chimenea atorada es de aproximadamente 2 horas y la duración de todo el trabajo media guardia.

#### COSTOS:

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Duración (Media Gdía)
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 298.08</b>

<b>MATERIALES</b>	<b>Utilizado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Unit S/.</b>	<b>Precio Total</b>
<i>Anfo</i>	12	Kg	1.6	19.20
<i>Emulsión</i>	2	Unidades	0.9	1.80
<i>Cordón Detonante</i>	10	metros	0.6	6.00
<i>Guía de Seguridad</i>	12	Pies	0.3633	4.36
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 31.36</b>

<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>	<b>S/. 329.44</b>
------------------------------------	-------------------

La efectividad de este método solo es posible cuando la longitud del material colgado es pequeño entre 5.00 a 10.00 metros.

#### **4.3.2 Utilización de tubo de fierro tipo lápiz**

Este método empírico es utilizado sobre la cabeza de la chimenea y es mucho más peligroso que el anterior, debido que al querer introducir el tubo en forma de lápiz, se golpea con un combo pesado la cabeza del tubo, esto puede generar en cualquier momento el colapso de toda la carga y ceder llevándose consigo al personal que esta sobre ella, pese a tener arnés de seguridad será atrapado parte de su cuerpo.

#### **COSTOS:**

<b>PERSONAL</b>	<b>Sueldo diario S /.</b>	<b>Beneficios Sociales %</b>	<b>Sueldo con BB.SS</b>	<b>Duración (Media Gdía)</b>
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 343.53</b>

<b>MATERIALES</b>	<b>Utilizado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Unit S/.</b>	<b>Precio Total</b>
<b>Tubo de 3"</b>	<b>5</b>	<b>metros</b>	<b>20.00</b>	<b>100.00</b>
<b>Anfo</b>	6.5	Kg	1.6	10.40
<b>Emulsión</b>	2	Unidades	0.9	1.80
<b>Cordón Detonante</b>	15	metros	0.6	9.00
<b>Guía de Seguridad</b>	12	Pies	0.3633	4.36
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 125.56</b>
<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>				<b>S/. 469.09</b>

El tiempo de exposición es más crítico, porque se debe de clavar el tubo a golpes y es muy difícil debido a que el material está compuesto de rocas por lo que puede llevar entre 2 a 3 horas lograr introducir la mayor parte de la longitud del tubo ( 3.00 a 5.00 m ). El trabajo puede hacerse en media guardia.

La efectividad de este método solo es posible cuando el material colgado esta entre 5.00 a 10.00 metros, una distancia superior se torna demasiado grande y no hace efecto.

#### **4.3.3 Empleo de equipos de perforación vertical (Simba)**

El uso de un equipo de perforación vertical (Simba) para desatorar una chimenea RB atorada con una gran columna de material, es otro método que puede tener resultados muy costosos, esto debido a que el equipo involucrado puede ser absorbido por la carga al ceder y quedar atorado en la boca de la chimenea con daños de consideración en sus componentes de perforación y sistema hidráulico en el caso más crítico y en otro caso perder todo el varillaje de perforación ,quedando inservible, ya que es arrastrado por las rocas que en el camino han sido atravesadas por la perforación.



En el caso del personal que realiza los cambios de las barras, se expone a ser llevado con el material de la chimenea que puede ceder por la vibración de la perforación previa.

El trabajo con este método puede durar una guardia completa y el trabajador se expone sobre la chimenea un corto tiempo, (2 minutos) solo para ir uniendo las barras; pero cada vez que lo hace esta sobre el material que está siendo movido por la vibración.

### **COSTOS:**

<b>PERSONAL</b>	<b>Sueldo diario S /.</b>	<b>Beneficios Sociales %</b>	<b>Sueldo con BB.SS</b>	<b>Duración (Media Gdía)</b>
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro Simba</i>	70.00	0.9943	139.60	69.80
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 303.07</b>

Altura de columna atorada 50 metros

<b>MATERIALES</b>	<b>Utilizado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Unit S/.</b>	<b>Precio Total</b>
<b>Barras de Perforación</b>	<b>42</b>	<b>barras</b>	<b>168.00</b>	<b>7056.00</b>
<b>Broca de 50 mm</b>	1	unidad	126.00	126.00

<b>Perdidas de barras por arranque de la columna 75%</b> <b>Perdida de broca de 50 mm</b>	32		5376.00
	1		126.00
<b>Total Costo por Perdidas</b>			<b>S/. 5,502.00</b>

<b>Costo 6 horas de perforación Simba</b>	6	horas	126.00	<b>S/. 756.00</b>
---	---	-------	--------	-------------------

<b>TOTAL COSTO</b>				<b>S/. 6,561.07</b>
--------------------	--	--	--	---------------------

El uso de este método es muy riesgoso y anti técnico debido a que se pone en riesgo equipos de alto costo de adquisición.

Existe el riesgo que el equipo sea arrastrado a la boca de la chimenea y se dañen otros elementos.

#### 4.3.4 Extracción de la carga con baldes

Para llevar a cabo este método, se instala un mecanismo de tecle o polea para subir el balde que será el depósito que sacara el material, habiendo un personal dentro de la chimenea quien será el que llena este.

El trabajo es lento y tedioso, el trabajador tendrá su arnés de seguridad, aun así se expone constantemente a caídas de roca al ascender el balde, además está mucho tiempo dentro de la chimenea la cual puede ceder en cualquier momento.

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Duración (70 Días)
<i>Supervisor 1er T</i>	150.00	0.64	246.00	17220.00
<i>Supervisor 2do T</i>	150.00	0.64	246.00	17220.00
<i>Maestro 1er T</i>	70.00	0.9943	139.60	9772.07
<i>Maestro 2do T</i>	65.00	0.9943	129.63	9074.07
<i>Ayudante 1er T</i>	45.00	1.02	90.90	6363.00
<i>Ayudante 1er T</i>	45.00	1.02	90.90	6363.00
<i>Ayudante 2do T</i>	45.00	1.02	90.90	6363.00
<i>Ayudante 2do T</i>	45.00	1.02	90.90	6363.00
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 78,738.14</b>

HERRAMIENTAS	Cantidad	Unidades	Precio Unit S/.	días Utilizado	Vida Útil días	Costo por Uso
<i>Tecle</i>	1	Unidad	1200.00	70	720	116.67
<i>Soga Nylon 1/2"</i>	100	Metros	8.00	70	90	800.00
<i>baldes Metálico</i>	2	Unidad	120	70	360	46.67
<i>Carretilla</i>	1	Unidad	240	70	180	93.33
<i>Estructura de Extracción</i>	1	Unidad	1600	70	90	1244.44
<b>Total Herramientas</b>						<b>S/. 2,301.11</b>

<b>TOTAL COSTO</b>	<b>S/. 81,039.25</b>
--------------------	----------------------

Dependiendo de la longitud de columna de carga colgada, el tiempo de limpieza con este método demorara, en el caso específico de la chimenea C – 200 en la unidad Huanzala, se tenía una columna de 70 m, el diámetro de la chimenea es de 1.50 m y si se limpiase cada día un metro lineal de carga, esto requeriría más de 2 meses, si no se tuviera ningún percance que lamentar.

El uso de este método es efectivo, pero muy lento, de elevado costo económico, además de alto riesgo para la vida y la salud de los trabajadores que se exponen a esta práctica ya que es un trabajo en espacio confinado, húmedo, incómodo, con riesgos de caída de roca, y hundimiento del piso de trabajo.

#### **4.3.5 Utilización de listones de madera con carga explosiva**

##### **En la punta**

Este método de utilizar listones de madera con una carga explosiva en su extremo es una práctica de alto riesgo, debido a que el personal está debajo de la chimenea expuesto a caída de rocas o de la carga misma, lo cual conllevaría a un accidente fatal.

El tiempo de exposición debajo de la chimenea puede durar 30 minutos a más; dependiendo de la altura a la cual se encuentre la zona de atoro, la longitud de los listones puede ser mayor y con ello a medida que es más largo, estos se vuelven inestables, pueden romperse y caer en el cuerpo de uno de los trabajadores.

Los trabajos de preparación de los materiales y la colocación de estos pueden tomar media guardia de duración. La carga explosiva puede ser de 1 a 2 kilogramos y en el caso de la chimenea C – 200, la longitud de los listones amarrados supero los 40 metros.

<b>PERSONAL</b>	<b>Sueldo diario S /.</b>	<b>Beneficios Sociales %</b>	<b>Sueldo con BB.SS</b>	<b>Duración (Media Gdía)</b>
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	70.00	0.9943	139.60	69.80
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 303.07</b>

<b>MATERIALES</b>	<b>Utilizado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Unit S/.</b>	<b>Precio Total</b>
<i>Listones de Madera</i>	<b>15</b>	<b>Unidades</b>	<b>12.00</b>	<b>180.00</b>
<i>Anfo</i>	2	Kg	1.6	3.20
<i>Emulsión</i>	2	Unidades	0.9	1.80
<i>Cordón Detonante</i>	60	metros	0.6	36.00
<i>Guía se Seguridad</i>	12	Pies	0.3633	4.36
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 225.36</b>

<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>	<b>S/. 528.42</b>
--------------------------------	-------------------

La efectividad de este método se relaciona en cuan compacto está la zona crítica de la chimenea y la cantidad de explosivo que lleva consigo, en el caso de la chimenea C 200 se hizo 4 intentos sin resultados positivos.

#### **4.3.6 Utilización de tubería de PVC de 4 a 6 pulgadas**

##### **Con carga explosiva**

La utilización de tubería de PVC de 4 a 6 pulgadas, como listón llevando una carga explosiva en su extremo es una práctica común en el descampaneo de chimeneas RB atoradas, trabajar debajo de la chimenea siempre presenta un peligro latente de caída de rocas y más aún cuando el tiempo debajo de ella es mucho mayor , en este caso hacer subir una tubería de diámetro de 4 pulgadas hasta la zona atorada ( ejemplo chimenea 4037 culebra minas – Unidad Pallca), el personal se exponía más de 1 hora debajo de ella.

Se emplea a un Scooptram para ayudar a empujar la pesada tubería y 3 o más trabajadores direccionan la tubería dentro de la chimenea, los

riesgos de este método es la misma tubería, que a medida que asciende dentro de la chimenea esta se va enrollando en su periferia llegando a un punto en que cae por gravedad la columna enrollada del tubo, además el cordón detonante está en pleno roce con las paredes de la chimenea pudiéndose cortar y en caso extremo activarse. El trabajo puede realizarse en media guardia en total.

<b>PERSONAL</b>	<b>Sueldo diario S /.</b>	<b>Beneficios Sociales %</b>	<b>Sueldo con BB.SS</b>	<b>Duración (Media Gdía)</b>
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	70.00	0.9943	139.60	69.80
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 303.07</b>

<b>MATERIALES y EQUIPO</b>	<b>Utilizado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Unit S/.</b>	<b>Precio Total</b>
<i>Tubería de Pvc</i>	5	metros	12.00	60.00
<i>Scooptram</i>	1	hora	160.00	160.00
<i>Anfo</i>	2	Kg	1.6	3.20
<i>Emulsión</i>	2	Unidades	0.9	1.80
<i>Cordón Detonante</i>	60	metros	0.6	36.00
<i>Guía se Seguridad</i>	12	Pies	0.3633	4.36
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 265.36</b>

*Se utiliza 60 m de tubería de PVC  
pero se destruyen solo 5 metros*

<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>	<b>S/.</b>	<b>568.42</b>
--------------------------------	------------	---------------

El uso de tubería tiene mayor efectividad para longitudes no mayor a 25 metros sin muchos riesgos de que esta se caiga al enrollarse.

#### 4.3.7 Utilización de globos de Helio llevando carga explosiva

La utilización de globos con Helio llevando carga explosiva es un método bien sencillo y más seguro que los demás métodos anteriormente mencionados, debido a que el trabajador se expone mínimamente debajo a la chimenea entre 2 a 3 minutos solo para lanzar los globos, se requieren que estos tengan resistencia al roce con las paredes de la chimenea y tengan un gran volumen de gas para así lograr levantar más explosivo.

En el mercado es difícil hallar globos resistentes al roce con las rocas, por lo que el ingenio minero hizo que se usasen preservativos, los cuales cumplen con las características de calidad.

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Duración (Media Gdía)
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	70.00	0.9943	139.60	69.80
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 238.25</b>

MATERIALES y EQUIPO	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Precio Total
<i>Globos</i>	12	Unidades	1.50	18.00
<i>Helio</i>	1	M3	200.00	200.00
<i>Emulsión</i>	1	Unidades	0.9	0.90
<i>Guía se Seguridad</i>	1	Pies	0.3633	0.36
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 219.26</b>

<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>	<b>S/. 457.51</b>
--------------------------------	-------------------

Pese a tener los globos, entre 10 a 12 unidades (que son los que alcanzan a entrar en la chimenea) solo pueden levantar un cartucho de dinamita con un tramo de mecha lenta y la explosión que genera no es

efectiva para un atoro difícil. El tiempo que toma hacer esta práctica es aproximadamente media guardia.

Este método solo es efectivo cuando la carga atorada esta débilmente sujeta entre si y que con una leve explosión cae, caso contrario no es efectiva

#### 4.3.8 Utilización del dispositivo Spoutnik

Como se mencionó en el capítulo IV, el dispositivo Spoutnik, es un elemento ingenioso, sencillo, de origen Canadiense con licencia y patente actualizada, consiste en un envase que lleva un volumen de explosivos dentro de él y que es levantado por la presión de aire comprimido de aproximadamente 80 a 100 lb de presión.

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Duración (Media Gdía)
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	70.00	0.9943	139.60	69.80
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				<b>S/. 348.52</b>

MATERIALES y EQUIPO	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Precio Total
Dispositivo Spoutnik	1	Unidad	3360.00	3360.00
Mangueras de 2" (HP)	3	Unidades	840.00	2520.00
Compresor	4	horas	98.00	392.00
Anfo	6	Kg	1.6	9.60
Emulsión	2	Unidades	0.9	1.80
Cordón Detonante	60	metros	0.6	36.00
Guía de Seguridad	12	Pies	0.3633	4.36
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 6,323.76</b>

<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>	<b>S/. 6,672.27</b>
--------------------------------	---------------------

El envase o dispositivo trepador está unido a una manguera de fibra sintética liviana y que es manipulada por un trabajador para direccionarla dentro de la chimenea, el aire comprimido lo brinda un compresor portátil que esta distante de la chimenea unos 50 m. El tiempo de exposición al pie de la chimenea varía según la altura de la zona de atoro entre 20 a 30 minutos y los trabajos pueden realizarse en media guardia.

El uso del Spoutnik, no es generalmente efectivo al primer disparo, se suele realizar de 2 disparos a más, aumentando con ello el costo y aun así no caer la carga atorada (ejemplo chimenea 325 – Pallca); los rangos de efectividad esta de 60 a 80 m en chimeneas verticales. Es uno de los métodos más técnicos que se tiene en el mundo minero.

#### **4.3.9 Perforación de taladros diamantinos direccionados Hacia el punto de atoro**

El empleo de taladros diamantinos para lograr desatorar una chimenea RB es factible su uso; sin embargo la disponibilidad de una de estas máquinas, la reubicación y el costo de perforación es lo que hace costoso su empleo, además factores como distancia de la cámara con la chimenea, la inclinación de esta y su diámetro relativamente pequeño hace difícil que los taladros a perforar lleguen con exactitud a dicha labor debido a la desviación de las perforaciones que aumentan con la distancia.

En el caso de la chimenea C-200 Unidad Huanzala, se tenía una cámara a 30 m en el mismo nivel de la cabeza de la chimenea que podría ser usada como cámara diamantina, teniendo la chimenea RB una inclinación aproximada de 72 grados, la distancia aproximada a perforar sería de 85 m para cortar a la chimenea con mucha eficacia en el 1er taladro. Los avances conservadores por día de perforación son 24 m, lo que llevaría a cortar en el 4to día de trabajos de perforación. Los trabajos de carguío y voladura pueden llevar media guardia.



CONCEPTO	Longitud	Unidad	Precio Unit. S/.	Precio total
<i>Perforación Diamant. HQ</i>	85	metros	350	S/. 29,750.00

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Duración (Media Gdía)
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	123.00
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	64.81
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	45.45
<b>Total Jornal</b>				S/. 233.26

MATERIALES	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Precio Total
<i>Fanel</i>	1	Unidades	3.36	3.36
<i>Emulsión</i>	10	Unidades	0.9	9.00
<i>Cordón Detonante</i>	82	metros	0.6	49.20
<i>Guía se Seguridad</i>	12	Pies	0.3633	4.36
<b>Total materiales</b>				S/. 65.92

<b>TOTAL COSTO POR DISPARO</b>	<b>S/. 30,049.18</b>
------------------------------------	----------------------

Costo aproximado de uso de taladro diamantino para el desatoro de chimenea S/. 30,049.18

En este método no existe riesgo de exposición del personal a la chimenea debido a que los trabajos se realizan fuera de ella.

#### 4.3.10 Construcción de una chimenea menor paralela a la Principal, con puntos de observación (subniveles)

La solución más adecuada para solucionar atoros de chimeneas Rb es la construcción de una labor aledaña paralela o chimenea gemela de menor diámetro, que se puede hacer vía convencional, es decir utilizando perforadoras neumáticas, accediendo hasta la zona crítica y hacer un subnivel al llegar a esa zona desde donde se puede realizar los "Plasteo".

CONCEPTO	Longitud	Unidad	Precio Unit. S/.	Precio total
Chimenea 1.2x1.2 m	60	metros	448	26880.00
Subnivel 1.8 x 1.2 m	10.00	metros	336.00	3360.00
<b>Total Labores</b>				<b>S/. 30,240.00</b>

#### CHIMENEA

MATERIALES	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Disparos	Precio Total
Escaleras	20	Unidades	30.00	-	600
Puntales de 6" x 1.2 m	2	Unidades	6.00	43	516.00
Tablas 2"x1.2m x 0.3 m	2	Unidades	6.00	43	516.00
Emulsión	100	Unidades	0.90	43	3870.00
Cordón Detonante	10	metros	0.60	43	258.00
Guía de Seguridad	160	Pies	0.36	43	2499.50
<b>Total materiales</b>					<b>S/. 8,259.50</b>

#### SUBNIVEL

MATERIALES	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Disparos	Precio Total
Emulsión	156	Unidades	0.90	7	982.80
Cordón Detonante	0	metros	0.60	7	0.00
Guía de Seguridad	208	Pies	0.36	7	528.96
<b>Total materiales</b>					<b>S/. 1,511.76</b>

<b>TOTAL COSTO</b>	<b>S/. 40,011.27</b>
--------------------	----------------------

La construcción de una labor paralela es más segura; sin embargo es costosa su implementación y los costos generados por días de paralización mientras dure ello también son parámetros a considerar para usar este sistema.

#### 4.3.11 Nuevo método de descampaneo de Chimeneas

##### De gran longitud

El dispositivo lanzador de bala explosiva (Cañón), fue construido con material reciclado, provenientes de la planta concentradora, teniendo un peso total de 555.00 kilos, demorando su construcción 4 guardias. La duración del dispositivo se prevé sea para 50 disparos.

La construcción de la bala explosiva está hecha de tubo electro soldado de diámetro 60.00 mm y de un espesor de 1.2 mm, costando en almacén cada tubo de longitud de 6.00 m S/. 72.00 nuevos soles, pudiéndose construir 5 balas por cada tubo en una guardia.

El tiempo de exposición debajo de chimenea, al usar el dispositivo lanzador de bala explosiva es de aproximadamente 15 minutos.

#### COSTOS: Construcción Dispositivo (LBE)

				Vida Útil disparos	40
PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Incidencia	TOTAL
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	0.40	98.40
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	2.00	259.26
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	2.00	181.80
<b>Total Jornal</b>					<b>S/. 539.46</b>

MATERIALES	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Precio Total
Tubería Usada	555	Kilos	5.00	2775.00
Soldadura Supercito	20	Kilos	25.00	500.00
Soldadura Cellocord	10	Kilos	18.00	180.00
Maquina Soldora	2	Días	100.00	200.00
Otras herramientas	2	Días	25.00	50.00
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 3,705.00</b>

Total costo de construcción	<b>S/. 4,244.46</b>
-----------------------------	---------------------

<b>COSTO UNITARIO DEL DISPOSITIVO LANZADOR POR DISPARO (a)</b>	<b>S/. 106.11</b>
--	-------------------

### Construcción bala explosiva

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Incidencia	TOTAL
Supervisor	150.00	0.64	246.00	0.40	98.40
Maestro	65.00	0.9943	129.63	2.00	259.26
Ayudante	45.00	1.02	90.90	2.00	181.80
<b>Total Jornal</b>					<b>S/. 539.46</b>

Las Balas que se construyen en dos días son **9**

MATERIALES	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Precio Total
Tubo de 2 1/2"	6	metros	12.00	72.00
Sold. Cellocord	2	Kilos	18.00	36.00
Maquina Soldora	2	Días	100.00	200.00
Otras erramientas	2	Días	25.00	50.00
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 358.00</b>

<b>Total costo de construcción</b>	<b>S/. 897.46</b>
------------------------------------	-------------------

<b>COSTO UNITARIO POR BALA (b)</b>	<b>S/. 99.72</b>
------------------------------------	------------------

## Disparo con el dispositivo

PERSONAL	Sueldo diario S /.	Beneficios Sociales %	Sueldo con BB.SS	Incidencia	TOTAL
<i>Supervisor</i>	150.00	0.64	246.00	0.20	49.20
<i>Maestro</i>	65.00	0.9943	129.63	0.20	25.93
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	0.20	18.18
<i>Ayudante</i>	45.00	1.02	90.90	0.20	18.18
<b>Total Jornal</b>					<b>S/. 111.49</b>

EQUIPOS Y MATERIALES	Utilizado	Unidades	Precio Unit S/.	Precio Total
<i>Scooptram</i>	0.5	horas	162.00	81.00
<i>Aserrin</i>	0.6	Kilos	1.00	0.60
<i>Petróleo</i>	0.2	Litro	2.00	0.40
<i>Grasa</i>	1	Kilo	5.00	5.00
<i>Anfo</i>	2.5	kilo	1.60	4.00
<i>Fanel</i>	2	Unidades	3.36	6.72
<i>Cordón detonante</i>	10	metros	0.60	6.00
<i>Guía de Seguridad</i>	12	pies	0.36	4.36
<i>Emulsiones</i>	2	Unidades	0.90	1.80
<b>Total materiales</b>				<b>S/. 109.88</b>

<b>Costo por realizar un disparo (c)</b>	<b>S/. 221.37</b>
--	-------------------

<b>COSTO TOTAL POR CADA BALA DISPARADA</b>	<b>(a + b + c)</b>	<b>S/. 427.19</b>
--	--------------------	-------------------

En el caso específico del desatoro de la chimenea C – 200 en la unidad Huanzala, se realizaron 4 disparos con el dispositivo lanzador de bala explosiva, para lograr hacer caer todo el material atascado, con lo que el costo total para lograr el desatoro se elevaría a S/. 2,323.60 nuevos soles.

### 4.4 Ventajas y desventajas del uso del nuevo método de desatoro De Chimeneas de gran longitud

Durante los trabajos que se realizaron con el dispositivo lanzador de bala explosiva en la mina Huanzala en la chimenea C – 200 y posteriormente

en la Mina Pallca especialmente en la chimenea 4730, se logró reconocer los alcances y limitaciones de este método, hasta donde se ha perfeccionar.

#### **4.4.1 Desatoro de chimeneas con carga gruesa (Experiencia en mina Huanzala)**

El dispositivo lanzador de bala explosiva , se ideó en la unidad Huanzala como repuesta a una necesidad apremiante , consistente en el atoro de la chimenea C – 200 que servía como echadero de desmonte , que provenía de la ampliación de la galería antigua C- 200, era la alternativa más económica para mover el desmonte de un nivel a otro.

Después que la empresa especializada a cargo de las operaciones en esta unidad, había utilizado casi todos los métodos conocidos para desatorar la chimenea sin resultados, se apoyó la idea de construir un dispositivo que lanzara una bala explosiva, semejante a como lo hace un cañón de artillería, con la única diferencia que se tenía que fabricar en las instalaciones de la mina con los recursos que se contaba e inclusive los explosivos.

El material atorado en la chimenea C - 200 en la Unidad Huanzala, era grueso, grandes rocas, maderas y tubería e inclusive restos de rieles, ante este tipo de atoro la utilización del método con el dispositivo lanzador de bala explosiva, presenta las siguientes ventajas:

- El dispositivo al ser robusto, resiste los golpes producto de la caída de rocas cuando se va desatorando la chimenea sin dañarlo.
- El posicionamiento es sencillo, y rápido por lo que el tiempo debajo de la chimenea es corto (15 min) y una vez que ya se posiciono, este no se mueve, por lo que el siguiente disparo se hace en menos de 5min.
- El uso de una bala explosiva como elemento desatorador, simplifica mucho el proceso de desatoro en chimenea RB

- El dispositivo debido a su robustez, puede usarse, por muchas veces, a la fecha se ha realizado 22 disparos y puede seguir siendo utilizado.
- A medida que los materiales de construcción del dispositivo sean de mejor calidad, en esa medida, la resistencia y peso de este mejorara.
- El dispositivo lanzador de bala explosiva, es muy eficiente cuando la carga atorada en la chimenea es gruesa, se pudo apreciar que los arcos generados por bancos, se desmorona con un golpe adecuado de la bala explosiva.
- El costo por bala disparada es económico y brinda mayor seguridad, La chimenea atorada solo requirió 4 disparos para ser desatorada.
- La bala explosiva es de fácil construcción, asimismo La carga impulsora es de fabricación sencilla y se usan los explosivos comúnmente usados en mina.
- El manejo, manipuleo de los explosivos y del dispositivo es de fácil conocimiento de los trabajadores asignados a esta labor.

#### **4.4.2 Desatoro de chimeneas con carga muy fina (Experiencia en mina Palca)**

Se realizaron trabajos de desatoro en la chimenea 4740, zona culebra minas Unidad Palca y como se explicó anteriormente, los resultados no fueron alentadores, pese que en esta chimenea se hicieron 17 disparos, sin embargo esto sirvió para reconocer las falencias del dispositivo lanzador de bala explosiva en otro ambiente de atoro de chimenea, con un material distinto donde no tuvo éxito.

Luego de realizado estas pruebas en esta chimenea, las desventajas del dispositivo lanzador de bala explosiva podemos enumerarlo de la siguiente manera:

- El dispositivo lanzador de bala explosiva, cargada con Anfo no lograr desatorar la zona de atasco si el material es de granulometría fina.
- El peso de 555.00 kg. Del dispositivo lanzador, hace lento y peligroso el posicionamiento de este al pie de la chimenea.
- Los materiales baratos y provenientes de la chatarra no brindan una buena garantía de durabilidad del dispositivo pese a que se hayan disparos 21 disparos con este modelo.
- Cuando una chimenea esta “desbocada” es más lento centrar el dispositivo lanzador de bala explosiva.



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Durante el desarrollo del presente trabajo se ha podido demostrar que el dispositivo lanzador de bala explosiva, construido en la Unidad Minera Huanzala logro el desatoro de la chimenea de gran longitud, Raise Borer C- 200.
- Se Construyó un dispositivo lanzador de bala explosiva , resistente y funcional que se usó para desatorar la chimenea C – 200
- Se construyó y empleo una modelo de bala explosiva que permitió desatorar la chimenea C - 200
- Se logró obtener una mezcla adecuada del explosivo Anfo, para ser utilizada como carga impulsora de la bala sin que destruya el dispositivo lanzador
- Basado en la experiencia, del desatoro de la chimenea C - 200 en la Mina Huanzala, utilizando “*el dispositivo lanzador de bala explosiva*”, ahora se tiene un nuevo método de lograr desatorar chimeneas Raise Borer.

## 5.2 Recomendaciones

- Para el uso del nuevo método de desatoro de chimeneas de gran longitud empleando el dispositivo lanzador de bala explosiva, es de suma importancia el uso de un Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS), tal como se hizo durante los trabajos en la compañía Minera Santa Luisa.
- Para el posicionamiento del dispositivo lanzador de bala explosiva al pie de la chimenea, es muy importante ayudarse con un equipo motorizado, como Scooptram o Anfotruck, debido al peso elevado del dispositivo ( 555.00 Kilos)
- El dispositivo lanzador de bala explosiva, puede ser perfeccionado, en su construcción, se recomienda que este sea construido con mejores materiales y modificar el sistema de posicionamiento, asimismo la bala explosiva perfeccionar el sistema de explosión en la zona atorada ya no por tiempos de retardos, sino utilizando "*Espoletas de impacto*" tal como se usa en la artillería.
- Se recomienda realizar un mejor estudio del explosivo de la bala, que permita tener mejores resultados en materiales muy finos que atoran chimeneas, basándose en las características más adecuadas de otros explosivos de alto VOD o mayor poder de burbuja.

## Bibliografía

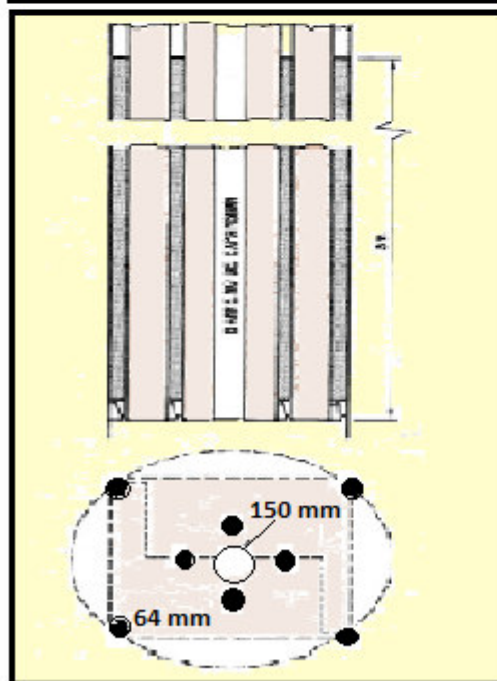
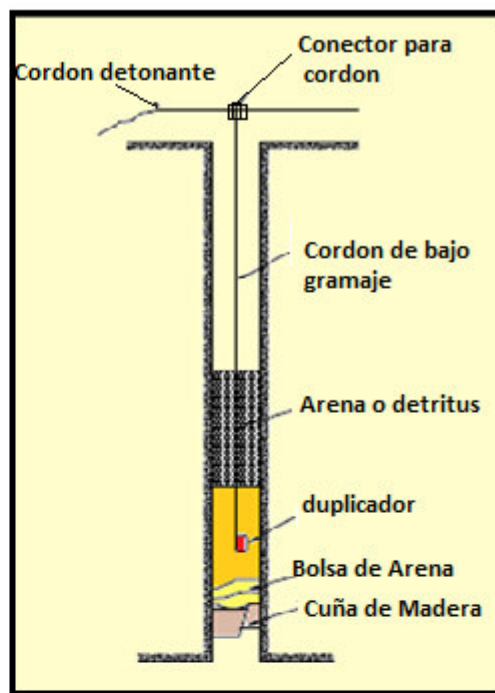
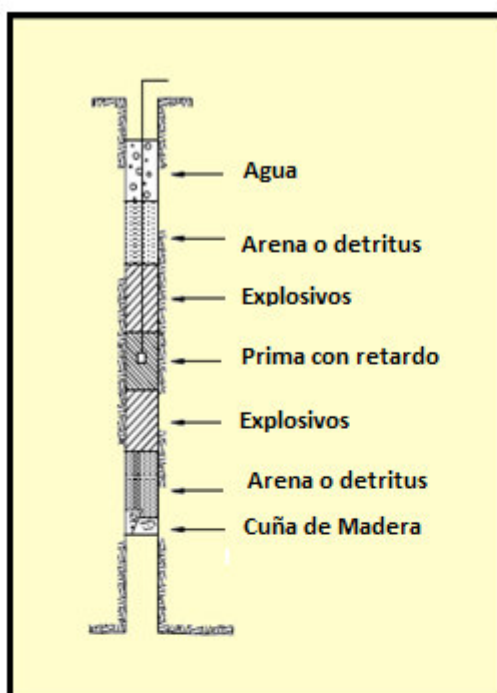
1. **Arce Gonzales, Luis** 2010. Nuevo Método para descampaneo de Chimeneas de gran longitud”, Compañía Minera Coturcan S.R. L- Unidad Huanzala, 8vo Congreso Nacional de Minería - Trujillo 2010. 12 p.
- 1- **Atlas Copco.** El cuele Cráter en la perforación de chimeneas
- 2- **Atlas Copco.** Product catalogue – Raise boring equipment”, Secoroc Rock Drilling Tools.
- 3- **Atlas Copco.** Raise Boring equipment” The Robbins Range
- 4- **Carrascal, R.; Saez, J.; Soler, P.** El Yacimiento Estrato ligado (Pb – Zn - C u – Ag) de Huanzala (Huánuco PERU Central) Discusión Genética, boletín Sociedad Geológica del Perú No 71. Setiembre 1983 – pág. 01 - 15
- 5- **Castañon. C .Y Castells,** “Métodos de perforación y voladuras empleados en la mina Rubiales” IV Seminario de Ingeniería de arranque de rocas con explosivos en proyectos subterráneos. Fundación Gómez - Pardo 1990
- 6- **Exsa** “Manual Práctico de explosivos”
- 7- **Gustafsson, R.** “Técnicas Sueca de Voladura” SPI ,1977
- 8- **Huamani Huaylla, Kiusa** “Construcción de Chimeneas por Método Convencional y Plataforma Alimak en la Mina Raúl. 2011 Perteneciente a la empresa Minera Condestable S.A.C”, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad

de Ingeniería de Minas, Geología y Civil – Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas.

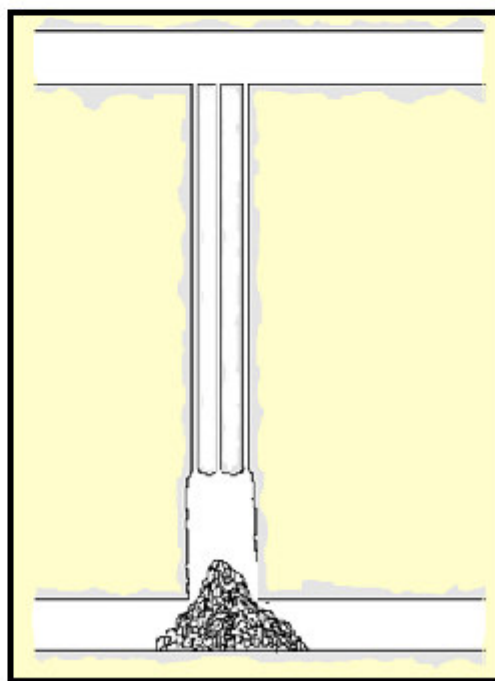
- 9- **Lopez Jimeno, E.; Lopez Jimeno, C.** “Las Voladuras en Cráter y su aplicación a la minería. VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Barcelona. 1984
- 10- Perforadoras De Chimeneas, equipos Atlas Copco.  
<http://www.atlascopco.com.mx/mxes/products/productgroup.aspx?id=1401336>
- 11- Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio. Tabla C 1 y tabla C 7
- 12- **Spoutnik SP – 200** Instrucciones de ensamblaje , RG Blasting S.R.L
- 13- **Tosone, Hugo A.; Anca, Andrés** 1981. Tubos de pared gruesa” Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad regional de Santa Fe
- 14- **Zuriguel Ballaz, D. Iker** 2005. *Flujo y Atascos de un Medio Granular en la Descarga de Silos*. Tesis doctoral para optar el grado de doctor en Física, Universidad de Navarra. Departamento de Física y Matemáticas Aplicada, Facultad de Ciencias, Madrid, España.

## **ANEXOS**

# **ANEXO 1: Disposicion de la carga , perforacion y voladura de un taladro metodo VCR**



Esquema de perforacion y secuencia de encendido, con barreno central de gran tamaño



Chimenea disparada metodo el sistema VCR

## ANEXO 2: Máquina Raise Borer Robbins



*Maquina Raise Borer Atlas Copco - ROBBINS*

**ANEXO 3: Maquina raise Borer Robbinss modelo 34 RH**



**Robbins 34RH**



#### ANEXO 4: Maquina Raise Borer Atlas Copco – Robbins 73 RH



*Maquina Raise Borer Atlas Copco – Robbins 73 RH mostrando el panel*

ROBBINS	DIAMETER		DEPTH	
	Nominal	Range*	Nominal	Range*
Model	[ m ]	[ m ]	[ m ]	[ m ]
34RH	1.2	0.6 - 1.5	340	610
44RH	1.5	1.0 - 1.8	250	610
53RH	1.8	1.2 - 2.4	490	650
73RM	2.4	1.2 - 2.4	490	650
83RM	4.0	2.4 - 5.0	500	1010
97RL	4.0	2.4 - 5.0	600	1010
123RM	4.8	3.1 - 6.0	920	1100

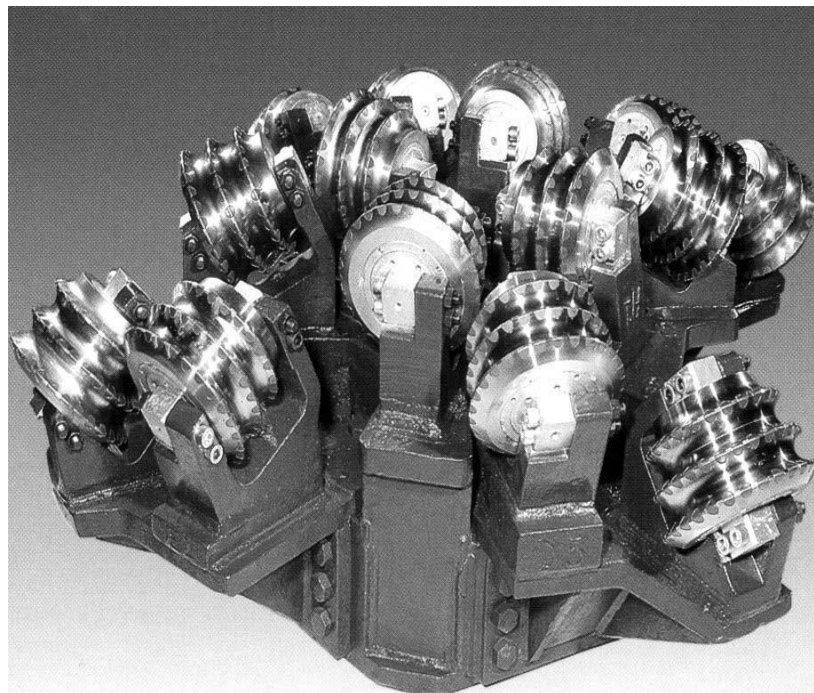
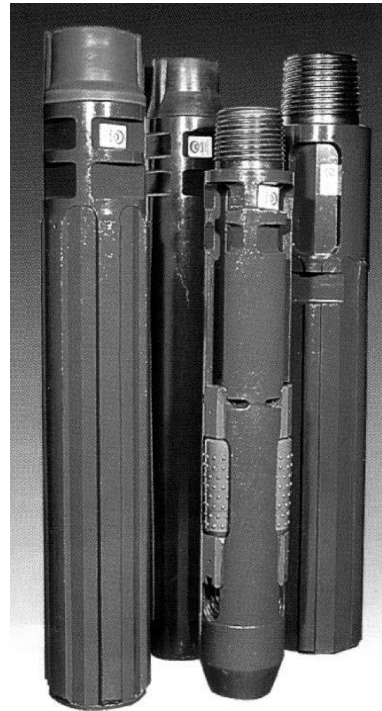
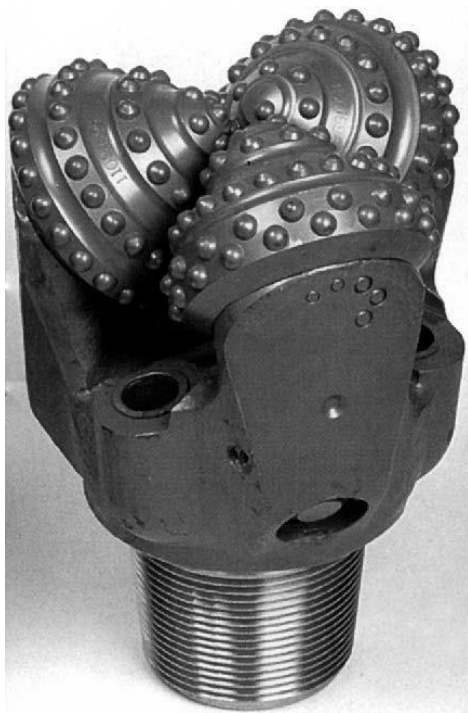
Especificaciones de máquinas Raise Borer, (sistema métrico) se aprecian los rangos de cada modelo, diámetros y profundidad máxima de perforación. (\*Esto depende del tipo de máquina y de la calidad de la roca a perforar)

## ANEXO 5: Maquina Raise Borer Robbins 91 RH C

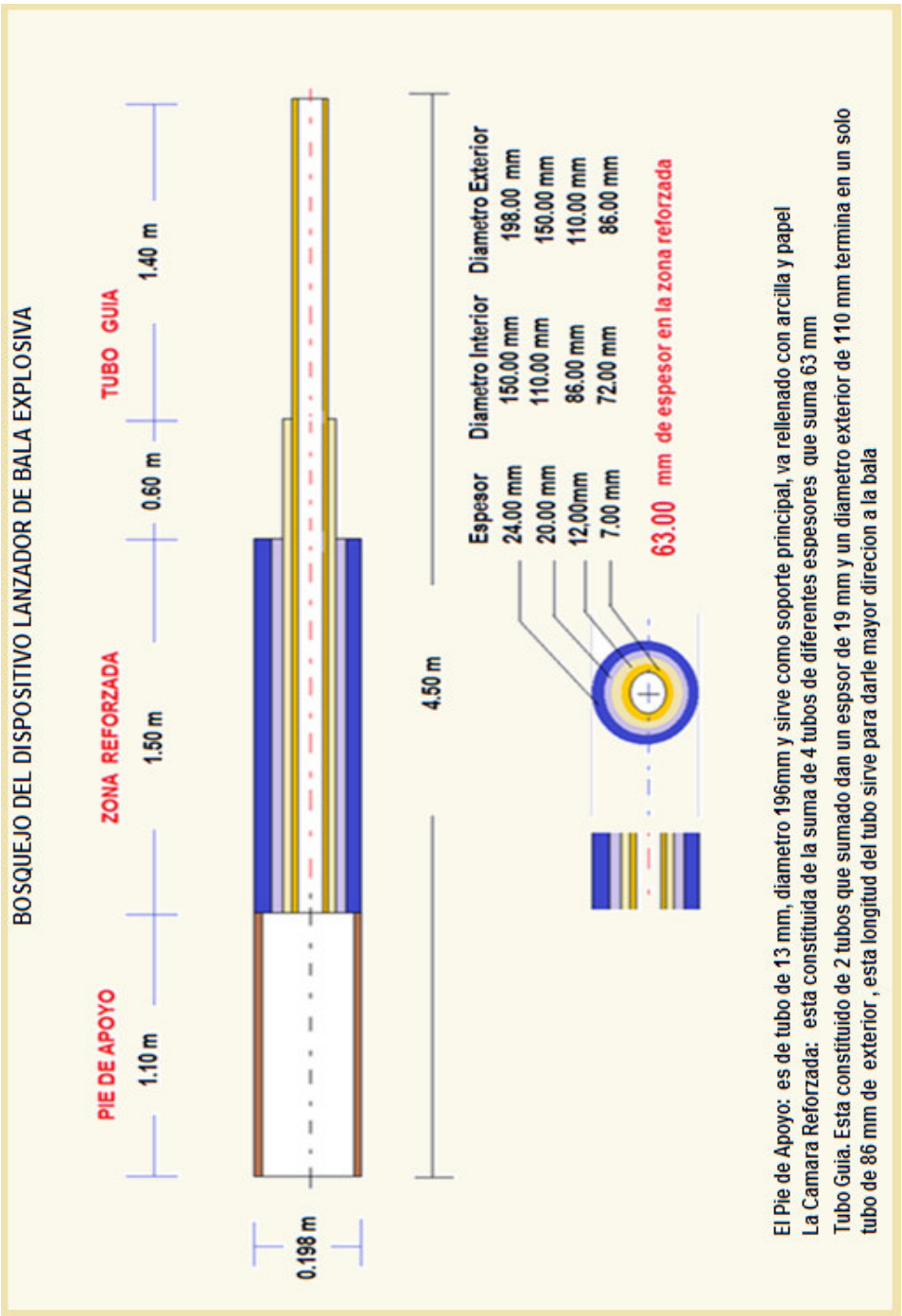


*El Raise Borer Atlas Copco Robbins 91 RH C en la mina Kiruna: Una maquina muy avanzada con enorme potencia (6.800 kN y un torque de 450 kNm) este equipo puede llegar a perforar 1000 m.*

## ANEXO 6: Elementos de perforacion de maquinas Raise Borer



ANEXO 7: Bosquejo dela cosntruccion del lanzador de bala explosiva



## ANEXO 8: PROPIEDADES Y TRATAMIENTO DE PARTICULAS SÓLIDAS

### “LA ECUACION DE JANSSEN”

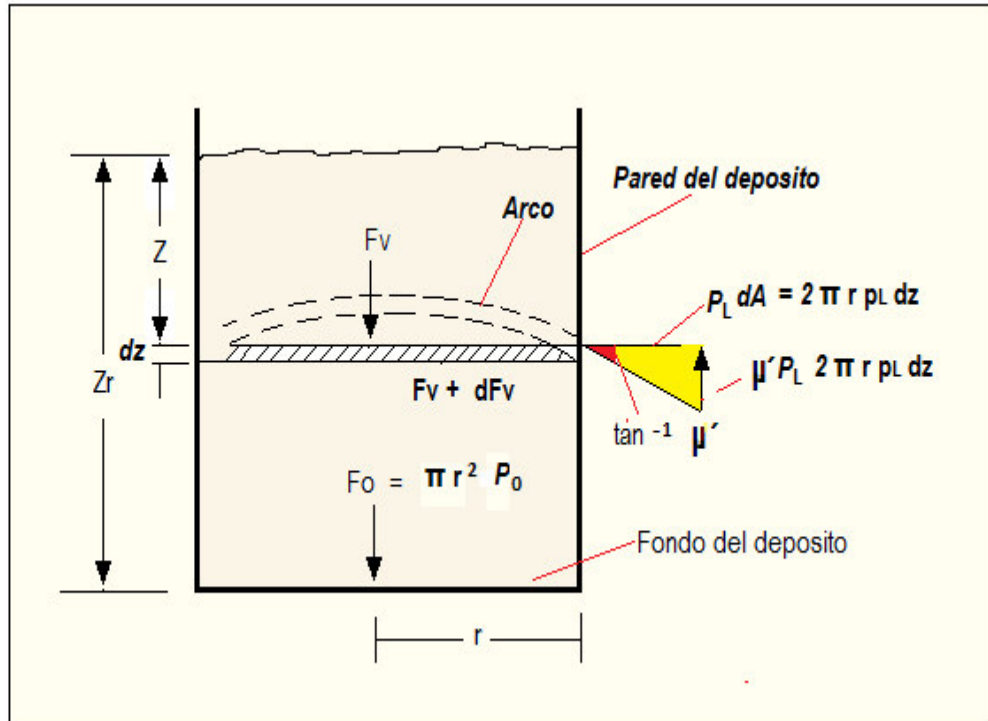


Figura 11- A: fuerzas en un depósito circular con lados verticales

$$P_v = \frac{F_v}{\pi r^2}$$

(26.18)

De donde

$$dF_v = \pi r^2 d\rho v$$

(26.19)

El aumento neto de la fuerza dirigida hacia abajo causado por la capa diferencial es la fuerza de la gravedad  $dF_g$  menos la fuerza de fricción  $dF_f$ . Por tanto,

$$dF_v = dF_g - dF_f$$



(26.20)

La fuerza de gravedad que actúa sobre la capa es  $(g/g_c) \pi \rho_b r^2 dZ$ , donde  $\rho_b$  es la densidad global del material. La fuerza de fricción es el producto del coeficiente de fricción  $\mu'$  en la pared del depósito por la fuerza lateral  $F_L$ . la fuerza lateral viene dada, a su vez, por el producto de la presión lateral  $\rho_L$  por el área sobre la que actúa,  $2\pi r dz$  por lo tanto,

$$dF_v = \pi r^2 d\rho_v = \pi r^2 \rho_b \frac{g}{g_c} dZ - \mu' (2\pi r p_L dZ)$$

(26.21)

Dividiendo por  $\pi r$  y teniendo en cuenta que  $p_L/p_v = K'$ , se obtiene

$$r d\rho_v = \left( r \rho_b \frac{g}{g_c} - 2\mu' \frac{\rho_L}{\rho_v} \rho_v \right) dZ = \left( r \rho_b \frac{g}{g_c} - 2\mu' K' \rho_v \right) dZ$$

(26.22)

Sea  $\rho_B$  la presión vertical sobre el fondo del depósito. Integrando la ecuación (26.22) desde el fondo de la masa de sólidos hasta la parte superior,

$$\int_0^Z dZ = \int_0^{\rho_B} \frac{r d\rho_v}{r \rho_b (g/g_c) - 2\mu' K' \rho_v}$$

$$Z_T = -\frac{r}{2\mu' K'} \left[ \ln \left( r \rho_b \frac{g}{g_c} - 2\mu' K' \rho_v \right) \right]_0^{\rho_v}$$

(26.23)

Sustituyendo los límites de integración y reordenando resulta

$$\rho_b = \frac{r \rho_b (g/g_c)}{2 \mu' K'} (1 - e^{-2 \mu' K' z / r})$$

(26.24)

La ecuación (26.24) es **la ecuación de Janssen**, que ha sido contrastada experimentalmente. En la figura 11 - B se muestra una relación típica entre la presión en la base y la altura. Cuando existe una gran cantidad de sólido y la altura alcanza un valor aproximadamente tres veces superior al diámetro del depósito, el material adicional virtualmente no tiene efecto sobre la presión en la base. La masa total de depósito más material sigue, por supuesto, aumentando, pero la masa adicional es soportada por la pared y el lecho, y no por el fondo del depósito.

Cuando la sección del depósito no es circular,  $r$  se sustituye por dos veces el radio hidráulico. El coeficiente de fricción se obtiene experimentalmente determinando el Angulo para el cual los sólidos comienzan justamente a deslizar sobre un plano inclinado. El coeficiente  $\mu'$  es la tangente de este ángulo. Para materiales granulares sobre superficies metálicas o de hormigón,  $\mu'$  varía entre 0,35 y 0,55.

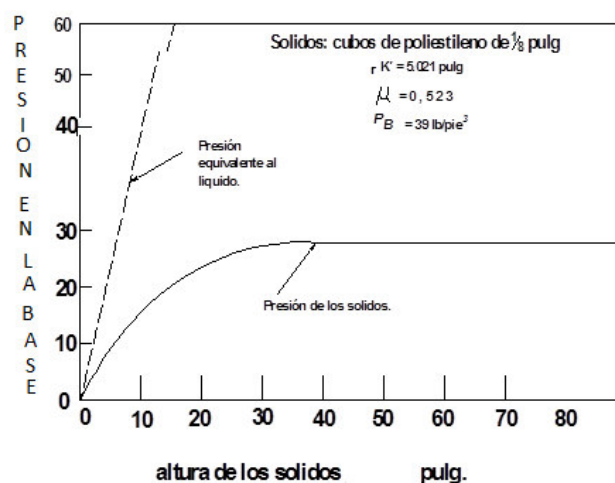


Figura 11- B: presión en la base de depósitos cilíndricos (según Rudd)

## ANEXO 9: TEORIA DE TUBOS DE PARED GRUESA

### ESTABILIDAD II

### TUBOS DE PARED GRUESA

#### b) Tubo sometido solamente a presión exterior "p<sub>e</sub>"

Fuerzas externas:  $p_i = 0$      $p_e \neq 0$

Condiciones de contorno: para  $r=a$  es:  $\sigma_r = 0$

para  $r=b$  ; es:  $\sigma_r = p_e$

En consecuencia, efectuando las correspondientes sustituciones en la expresión [8], se obtiene:

$$\text{Con } r=a: \quad \frac{B}{a^2} - A = 0 \quad \text{Con } r=b: \quad \frac{B}{b^2} - A = p_e$$

De estas ecuaciones se obtiene A y B:

$$B = -p_e \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{b^2 - a^2} \quad [20] \quad A = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \quad [21]$$

Sustituyendo las [20] y [21] en las [8] y [9] se obtiene:

$$\sigma_\theta = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{r^2} + 1 \right) \quad [22] \quad \sigma_r = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{r^2} - 1 \right) \quad [23]$$

Por ser  $r = a$  resulta  $\sigma_\theta < 0$  (compresión) y  $\sigma_r > 0$  (compresión).

La tensión  $\sigma_\theta$  será máxima para  $r=a$ , mientras que  $\sigma_r$  será máxima para  $r=b$ .

para  $r=a$ :

$$\sigma_{\theta_a} = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{a^2} + 1 \right) \rightarrow \sigma_{\theta_a} = -p_e \cdot \frac{2 \cdot b^2}{b^2 - a^2} = \sigma_{\theta_{\max}} \quad [24]$$

$$\sigma_{r_a} = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{a^2} - 1 \right) \rightarrow \sigma_{r_a} = 0 \quad [25]$$

para  $r=b$ :

$$\sigma_{\theta_b} = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{b^2} + 1 \right) \rightarrow \sigma_{\theta_b} = -p_e \cdot \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} = \sigma_{\theta_{\max}} \quad [26]$$

$$\sigma_{r_b} = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{b^2} - 1 \right) \rightarrow \sigma_{r_b} = p_e = \sigma_{r_{\max}} \quad [27]$$

En la fig. 7-b se muestra la variación de ambas tensiones

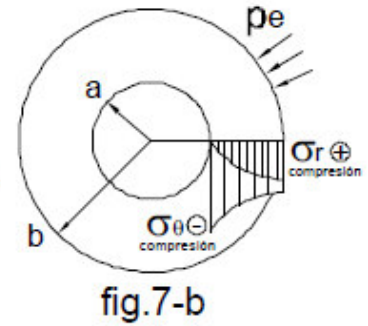
#### Tubos de pared "muy gruesa" y prismas con agujeros, con presión interior

Tubo con radio externo "b" mucho mayor que "a":

Las tensiones circunferenciales  $\sigma_\theta$  y  $\sigma_r$  que ocurren en el tubo están dadas por las expresiones [14] y [15], las que se pueden escribir condensadas del siguiente modo:

$$\sigma_{\theta,r} = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \cdot \left( \frac{b^2}{r^2} \pm 1 \right) = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \cdot \frac{b^2}{r^2} \pm p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2}$$

Cuando  $b \gg a$  se puede admitir sin gran error que  $b^2 - a^2 \approx b^2$  y que  $a^2/b^2 \approx 0$ .





y en esas condiciones las expresiones de las tensiones quedan así:

$$\sigma_{\theta} \cong p_i \cdot \frac{a^2}{r^2} \quad [14'] \quad \sigma_r \cong p_i \cdot \frac{a^2}{r^2} \quad [15']$$

siendo  $\sigma_{\theta}$  de tracción y  $\sigma_r$  de compresión

Significa entonces que en todo el espesor de un tubo de pared muy gruesa, las tensiones circunferenciales y radiales, son para cada radio, de igual valor absoluto y de carácter contrario (tracción y compresión) como muestra la gráfica de la fig.8-a.

Del análisis de las expresiones [14'] y [15'] surge que ambas tensiones son máximas en la superficie interior, donde el radio mínimo es  $r=a$ :

$$\sigma_{\theta \max} \cong \sigma_{r \max} \cong p_i$$

También se puede comprobar haciendo algunos cálculos que dichas tensiones decrecen rápidamente al aumentar el radio  $r$ .

Por ejemplo para:  $r=6.a$  es:  $\sigma_{\theta}=\sigma_r=0,028 p_i \approx 3\% p_i$

Ello implica que a una distancia "6.a" del centro del tubo, las tensiones valen aproximadamente 3% de las máximas que se dan en la pared interna.

Por otra parte, si el radio externo fuese por ejemplo  $b=6.a$ , el estado tensional calculado con las expresiones exactas [14] y [15], sería el que muestra la fig.8-b, destacando lo siguiente:

- Los valores máximos de  $\sigma_{\theta}$  y  $\sigma_r$  son casi iguales.
- Ambas tensiones decrecen muy rápidamente asemejándose mucho a los resultados obtenidos con las expresiones aproximadas [14'] y [15].

Esto permite enunciar la siguiente conclusión:

Si todos los puntos del contorno exterior de un componente como el que muestra la fig.8-c, están alejados una distancia considerable (por ejemplo más de 6.a) del centro del orificio de radio "a", cualquiera sea la configuración del contorno exterior, no tendría influencia de importancia en el estado tensional en las cercanías del orificio.

El cálculo de la resistencia de componentes de este tipo, puede resolverse entonces como si se tratase de un tubo de pared muy gruesa, utilizando con buena aproximación las expresiones aproximadas [14'] y [15'] para el cálculo de las máximas tensiones radiales y circunferenciales en el borde interno, y su eventual empleo en la correspondiente hipótesis de rotura, las que se tratan más adelante.

En consecuencia la presión "pi" que se pueda aplicar a un componente de gran espesor ya sea tubular o de otra forma externa, estará limitada por la resistencia del material  $\sigma_{adm}$  y no por el radio externo o el contorno exterior, teniendo en cuenta lógicamente la hipótesis de rotura correspondiente al material de que se trate.

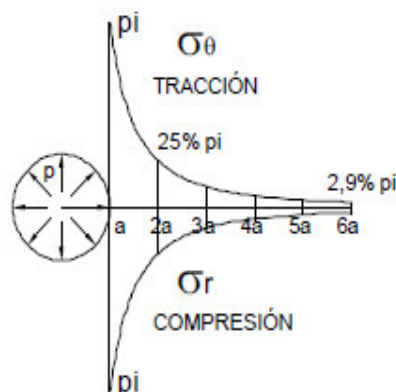


fig.8-a

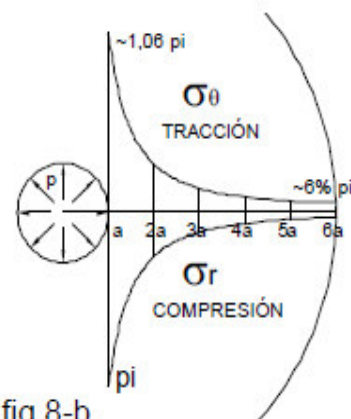


fig.8-b

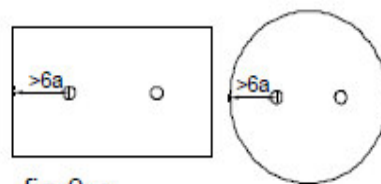


fig.8-c

## Teoría para tubos de pared gruesa vs. teoría para tubos de pared delgada.

### Comparación de los resultados.

Se analizará el caso de tubos sometidos sólo a presión interior.

Por medio de la teoría para cilindros de pared delgada se supone despreciable a  $\sigma_r$  y se considera que  $\sigma_\theta$  se distribuye uniformemente en el espesor de la pared. Con esas hipótesis y siendo "e=b-a" el espesor de pared, se obtiene lo siguiente para la tensión circunferencial:

$$\sigma_\theta = \frac{p_i \cdot a}{e} = p_i \cdot \frac{a}{b-a} \quad \boxed{\sigma_\theta = \frac{p_i}{\eta-1}} \quad \text{siendo:} \quad \eta = \frac{b}{a}$$

Con la teoría para tubos de pared gruesa se obtuvo, fórmula [16]:

$$\sigma_{\theta \text{ máx}} = p_i \cdot \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} = p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \quad \text{con } \eta = \frac{b}{a}$$

Relacionando ambas expresiones se obtiene:

$$\frac{\sigma_{\theta \text{ máx}}}{\sigma_\theta} = \frac{p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1}}{p_i \cdot \frac{1}{\eta - 1}} = \frac{(\eta^2 + 1) \cdot (\eta - 1)}{\eta^2 - 1} = \frac{(\eta^2 + 1) \cdot (\eta - 1)}{(\eta + 1) \cdot (\eta - 1)}$$

Finalmente: 
$$\boxed{\frac{\sigma_{\theta \text{ máx}}}{\sigma_\theta} = \frac{(\eta^2 + 1)}{(\eta + 1)}}$$

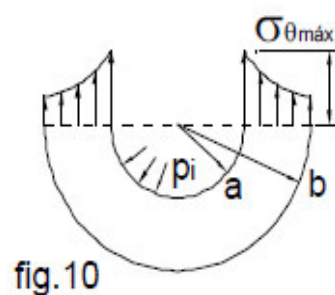
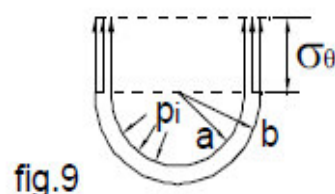
La siguiente tabla brinda algunos resultados:

$\eta = \frac{b}{a}$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,8	2	2,5
$\frac{\sigma_{\theta \text{ máx}}}{\sigma_\theta}$	1	1,05	1,109	1,17	1,23	1,51	1,67	2,07

Se aprecia que cuando  $\eta = \frac{b}{a} \geq 1,2$  el error es superior al 10%.

Las especificaciones de la A.S.M.E (American Society of Mechanical Engineers) establecen que se debe calcular en base a la teoría de tubos de pared gruesa cuando:

- si en tuberías de acero es:  $\eta = \frac{b}{a} \geq 1,2$  (que corresponde a un error mayor al 10%)
- si en tubos de calderas es:  $\eta = \frac{b}{a} \geq 1,1$  (que corresponde a un error mayor al 5%)





### Determinación del corrimiento radial “u”

Más adelante se analizará el comportamiento de los tubos dobles que se construyen por medio de dos tubos simples como los analizados hasta el momento, de tal modo que el exterior (camisa) zuncha al interior por medio de una pequeñísima interferencia entre los radios del tubo y la camisa.

En ese estudio será necesario conocer el corrimiento radial de los puntos de la superficie exterior del tubo como así también el corrimiento radial de los puntos de la superficie interior de la camisa. Por tal motivo será necesario evaluar dichos corrimientos.

A tal efecto se considerará nuevamente la expresión [6] de la deformación perimetral, como también la expresión [1] de la Ley de Hooke.

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{u}{r} \quad [6] \qquad \varepsilon_{\theta} = \frac{\sigma_{\theta}}{E} + \mu \cdot \frac{\sigma_r}{E} \quad [1]$$

Igualando ambas expresiones resulta:

$$\frac{u}{r} = \frac{\sigma_{\theta}}{E} + \mu \cdot \frac{\sigma_r}{E} \quad \text{de donde se obtiene:} \quad u = \frac{r}{E} (\sigma_{\theta} + \mu \cdot \sigma_r) \quad [28]$$

a) Corrimientos provocados por la acción de presión interior “pi” solamente:

Las expresiones [14] y [15] se pueden expresar del siguiente modo:

$$\sigma_{\theta} = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{b^2}{r^2} + 1 \right) = \frac{p_i \cdot a^2}{r^2 (b^2 - a^2)} (b^2 + r^2) \quad [14]$$

$$\sigma_r = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{b^2}{r^2} - 1 \right) = \frac{p_i \cdot a^2}{r^2 (b^2 - a^2)} (b^2 - r^2) \quad [15]$$

Reemplazándolas en la [28] se obtiene:

$$u = \frac{r}{E} \left( \frac{p_i \cdot a^2}{r^2 (b^2 - a^2)} (b^2 + r^2) + \mu \cdot \frac{p_i \cdot a^2}{r^2 (b^2 - a^2)} (b^2 - r^2) \right)$$

$$\text{o también:} \quad u = \frac{p_i \cdot a^2}{E \cdot r} \left( \frac{b^2 + r^2}{b^2 - a^2} + \mu \cdot \frac{b^2 - r^2}{b^2 - a^2} \right) \quad [29]$$

En el radio interior  $r = a$  resulta:

$$u_a = \frac{p_i \cdot a}{E} \left( \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} + \mu \right) \quad [30]$$

b) Corrimientos provocados por la acción de presión exterior “pe” solamente:

Se utilizan las expresiones [22] y [23] que se pueden expresar del siguiente modo:

$$\sigma_{\theta} = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{r^2} + 1 \right) = -\frac{p_e \cdot b^2}{r^2 (b^2 - a^2)} (a^2 + r^2) \quad [22]$$

$$\sigma_r = -p_e \cdot \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2}{r^2} - 1 \right) = -\frac{p_e \cdot b^2}{r^2(b^2 - a^2)} \cdot (a^2 - r^2) \quad [23]$$

Reemplazando [22] y [23] en la [28] se obtiene:

$$u = \frac{r}{E} \left[ -\frac{p_e \cdot b^2}{r^2(b^2 - a^2)} \cdot (a^2 + r^2) - \mu \cdot \frac{p_e \cdot b^2}{r^2(b^2 - a^2)} \cdot (a^2 - r^2) \right] \quad \text{y operando queda:}$$

$$u = -\frac{p_e \cdot b^2}{E \cdot r} \left[ \frac{a^2 + r^2}{b^2 - a^2} + \mu \cdot \frac{a^2 - r^2}{b^2 - a^2} \right] \rightarrow u = -\frac{p_e \cdot b^2}{E \cdot r} \left[ \frac{r^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \mu \cdot \frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} \right] \quad [31]$$

En el radio exterior  $r = b$  resulta:

$$u_b = -\frac{p_e \cdot b}{E} \left[ \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \mu \right] \quad [32]$$

## Aplicación de Hipótesis de falla al cálculo de tubos

### Dimensionado de tubos con presión interior “pi”

Los puntos mas exigidos de los tubos solicitados por presión interior, son los de la cara interna donde el estado tensional es más severo, no solamente por ser máximos los valores de las tensiones radial y circunferencial, sino también porque  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  (tensiones principales extremas) son de carácter contrario (tracción y compresión) siendo la tensión longitudinal  $\sigma_2$  nula, o inclusive, cuando se trata de tubos con tapas (recipientes) la tensión longitudinal (de tracción) resulta de menor valor que la tensión circunferencial máxima ya estudiada.

Por tratarse de un estado múltiple de tensiones y a fin de poder comparar el riesgo de falla con un estado monoaxial, es necesario utilizar algunas de las Hipótesis de falla debiéndose utilizar en cada caso, la más adecuada para el material que compone el tubo.

Se deducirán las fórmulas que se obtienen con algunas de las Hipótesis más usuales:

#### Hipótesis de Rankine (de la máxima tensión principal)

En este caso la tensión de comparación es:  $\sigma_c = \sigma_1$

siendo:  $\sigma_c$  : tensión de comparación de un estado monoaxial.

$\sigma_1$  : tensión principal máxima para el estado tensional del tubo en estudio.

Para el caso de presión interior, en valor absoluto siempre resulta  $\sigma_{\theta \text{máx}} > \sigma_{r \text{máx}}$

La máxima tensión principal es:  $\sigma_1 = \sigma_{\theta \text{máx}}$

La condición de resistencia será:  $\sigma_c = \sigma_{\theta \text{máx}} \leq \sigma_{\text{adm}}$

y considerando el signo “=” la condición queda así:

$$p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} = \sigma_{\text{adm}} \rightarrow \frac{\sigma_{\text{adm}}}{p_i} = \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \quad \text{siendo: } \eta = \frac{b}{a}$$

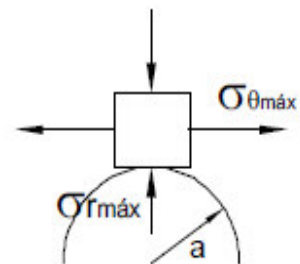


fig.11

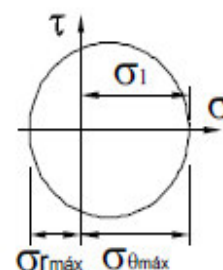


fig.12



Haciendo:  $\varphi = \frac{\sigma_{adm}}{p_i}$  la expresión queda así:  $\varphi = \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1}$

De esa expresión será necesario conocer el valor de " $\eta$ " ya que es la relación entre a y b. Como el radio "a" es generalmente un dato de diseño previo al cálculo del espesor, con el valor de  $\eta$  será posible calcular b. Se debe entonces despejar " $\eta$ ":

$$\varphi(\eta^2 - 1) = \eta^2 + 1 \quad \rightarrow \quad \varphi \cdot \eta^2 - \varphi - \eta^2 - 1 = 0 \quad \rightarrow \quad \eta^2(\varphi - 1) = \varphi + 1$$

de donde:

$$\eta = \sqrt{\frac{\varphi + 1}{\varphi - 1}} \quad [33]$$

La expresión [33] tiene solución real solamente para  $\varphi > 1$  lo que implica que la tensión admisible debe cumplir la condición:  $\sigma_{adm} > p_i$

#### Hipótesis de Guest (de la máxima tensión de corte)

En este caso la tensión de comparación es:  $\tau_c = \tau_{m\acute{a}x}$  debiendo ser  $\leq \tau_{adm}$

$\tau_c$  es la tensión de corte de comparación con un estado monoaxial, que ocurre a 45°, en un ensayo de tracción, cuando la tensión normal:  $\sigma_t = 2 \tau_{m\acute{a}x}$  (fig.13).

$\tau_{m\acute{a}x}$  tensión de corte máxima para el tubo en estudio que corresponde al radio de la circunferencia de Mohr. Por lo tanto, si en lugar de comparar tensiones de corte, se comparan las tensiones normales, se deberá utilizar el diámetro de tal circunferencia:

$$\sigma_c = \sigma_1 - \sigma_3$$

La condición entonces se puede expresar de la siguiente forma:  $\sigma_c = \sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_{adm}$

pero:  $\sigma_1 = \sigma_{\theta_{m\acute{a}x}} \quad \sigma_3 = -\sigma_{r_{m\acute{a}x}}$

Se ha colocado el signo "-" debido a que en el estudio de los tubos se consideró a la tensión radial de compresión con signo "+", en cambio para el análisis tensional a las tensiones de compresión le corresponde signo "-".

Usando el signo "=" se plantea así:

$$\sigma_{adm} = \sigma_{\theta_{m\acute{a}x}} + \sigma_{r_{m\acute{a}x}}$$

Siendo:  $\sigma_{\theta_{m\acute{a}x}} = p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \quad \sigma_{r_{m\acute{a}x}} = p_i$

Reemplazando:

$$\sigma_{adm} = p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} + p_i = p_i \cdot \left( \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} + 1 \right)$$

entonces:

$$\varphi = \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} + 1 = \frac{(\eta^2 + 1) + (\eta^2 - 1)}{\eta^2 - 1}$$

$$\varphi(\eta^2 - 1) = (\eta^2 + 1) + (\eta^2 - 1) = 2\eta^2$$

$$\varphi \cdot \eta^2 - \varphi - 2\eta^2 = 0 \quad \rightarrow \quad \eta^2(\varphi - 2) = \varphi$$

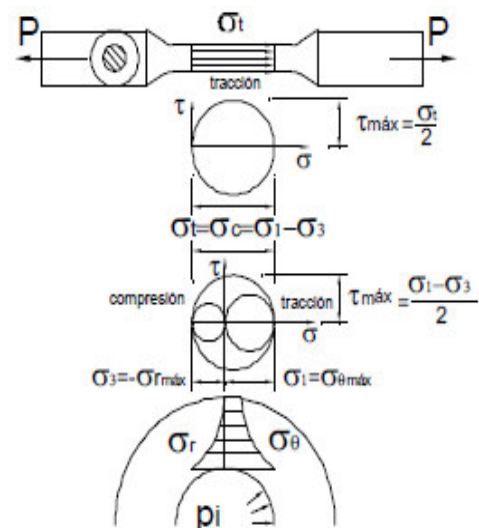


fig.13

finalmente resulta:

$$\eta = \sqrt{\frac{\varphi}{\varphi - 2}} \quad [34]$$

La expresión [34] tiene solución real solamente para  $\varphi > 2$  lo que implica que la tensión admisible debe cumplir la condición:  $\sigma_{adm} > 2 \cdot p_i$

#### Hipótesis de Huber-Hencky-Von Mises (de la máxima energía de distorsión)

Para un estado de tensiones principales (no existen tensiones de corte), la expresión de la tensión de comparación es:

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

Por ser  $\sigma_2 = 0$  la anterior se simplifica del siguiente modo:

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{2} [\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \frac{1}{2} [\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_3]$$

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{2} [2\sigma_1^2 + 2\sigma_3^2 - 2 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_3] = \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_3$$

Entonces la condición de resistencia será:  $\sigma_c^2 = \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_3 \leq \sigma_{adm}^2$

y siendo:  $\sigma_1 = \sigma_{\theta_{m\acute{a}x}}$   $\sigma_3 = -\sigma_{r_{m\acute{a}x}}$

la anterior queda así:  $\sigma_c^2 = \sigma_{\theta_{m\acute{a}x}}^2 + (-\sigma_{r_{m\acute{a}x}})^2 - \sigma_{\theta_{m\acute{a}x}} \cdot (-\sigma_{r_{m\acute{a}x}}) \leq \sigma_{adm}^2$

Reemplazando las tensiones por sus expresiones y utilizando el signo "=" resulta:

$$\left( p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \right)^2 + (-p_i)^2 - \left( p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \right) \cdot (-p_i) = \sigma_{adm}^2$$

$$\text{o también: } \left( \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \right)^2 + 1 + \left( \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} \right) = \left( \frac{\sigma_{adm}}{p_i} \right)^2 = \varphi^2$$

desarrollando el primer miembro, simplificando y agrupando se obtiene:  $\varphi^2 = \frac{3\eta^4 + 1}{(\eta^2 - 1)^2}$

Operando para explicitar  $\varphi$  resulta:

$$\varphi^2 \eta^4 - 2\varphi^2 \eta^2 + \varphi^2 - 3\eta^4 - 1 = 0 \quad \rightarrow \quad (\varphi^2 - 3) \cdot \eta^4 - 2\varphi^2 \cdot \eta^2 + (\varphi^2 - 1) = 0$$

Queda una ecuación de segundo grado en  $\eta^2$  cuya solución es:

$$\eta^2 = \frac{2\varphi^2 \pm \sqrt{4\varphi^4 - 4(\varphi^2 - 3)(\varphi^2 - 1)}}{2(\varphi^2 - 3)} = \frac{\varphi^2 \pm \sqrt{4\varphi^2 - 3}}{\varphi^2 - 3} \quad \rightarrow \quad \eta = \sqrt{\frac{\varphi^2 \pm \sqrt{4\varphi^2 - 3}}{\varphi^2 - 3}}$$

Para que esa expresión tenga solución real, en el denominador debe ser  $\varphi^2 > 3$ , y para que resulte  $\eta > 1$  debe utilizarse el signo "+" de del numerador del radical.

Con esa consideración resulta:

$$\eta = \sqrt{\frac{\varphi^2 + \sqrt{4\varphi^2 - 3}}{\varphi^2 - 3}} \quad [35]$$

siendo válida si:  $\varphi > \sqrt{3}$  ó  $\sigma_{adm} > \sqrt{3} \cdot p_i$

**Hipótesis de Saint-Venant** (de la máxima deformación principal)

La tensión de comparación es, fig.14:  $\sigma_c = \sigma_1 - \mu \cdot \sigma_2 - \mu \cdot \sigma_3$

Siendo:  $\sigma_1 = \sigma_{\theta máx}$   $\sigma_2 = 0$   $\sigma_3 = -\sigma_{r máx}$

La condición de resistencia será:  $\sigma_c = \sigma_{\theta máx} - \mu \cdot (-\sigma_{r máx}) \leq \sigma_{adm}$

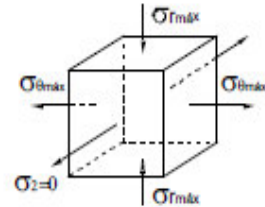


fig.14

Reemplazando las tensiones por sus expresiones y utilizando el signo "=" resulta:

$$\begin{aligned} \sigma_{adm} &= p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} - \mu \cdot (-p_i) & \rightarrow & \quad \sigma_{adm} = p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1 + \eta^2 \cdot \mu - \mu}{\eta^2 - 1} \\ \frac{\sigma_{adm}}{p_i} &= \varphi = \frac{\eta^2 + 1 + \eta^2 \cdot \mu - \mu}{\eta^2 - 1} & \rightarrow & \quad \varphi \cdot (\eta^2 - 1) = \eta^2 + 1 + \eta^2 \cdot \mu - \mu \\ \varphi \cdot \eta^2 - \varphi - \eta^2 - \mu \cdot \eta^2 &= \varphi + 1 - \mu & \rightarrow & \quad \eta^2 (\varphi - 1 - \mu) = \varphi + 1 - \mu \end{aligned}$$

finalmente resulta:

$$\eta = \sqrt{\frac{\varphi + (1 - \mu)}{\varphi - (1 + \mu)}} \quad [36]$$

La expresión [36] tiene solución real solamente para  $\varphi > (1 + \mu)$ .

La tensión admisible debe cumplir entonces la condición:  $\sigma_{adm} > (1 + \mu) \cdot p_i$

Nota: Las ecuaciones de Birnie para tubos abiertos coincide con esta teoría. (Ver Wallance-Doughtie, "Elementos de Máquinas")

**Criterio de Clavarino** (para cilindros de pared gruesa con fondos)

Cuando el tubo posee fondos (recipiente), surgen tensiones de tracción " $\sigma_a$ " en sentido longitudinal, fig.14-a, y entonces se presenta estado en el cual las tres tensiones principales poseen valores no nulos.

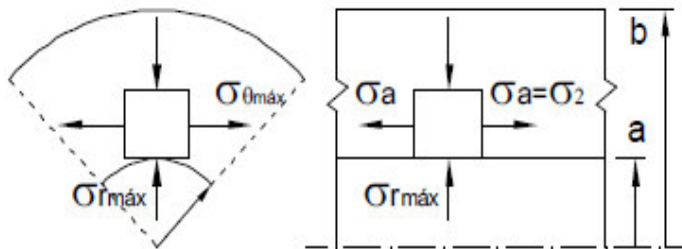


fig.15-a

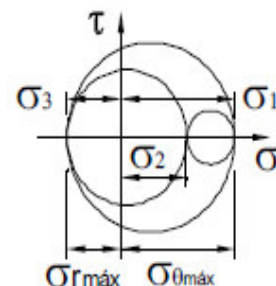


fig.15-b



Si a la tensión longitudinal " $\sigma_a$ " se la considera uniformemente distribuida en toda la sección transversal normal al eje del tubo, se la puede calcular haciendo el cociente entre la fuerza y el área:

$$\sigma_a = \frac{p_i \cdot (\pi \cdot a^2)}{\pi \cdot b^2 - \pi \cdot a^2} = p_i \cdot \frac{a^2}{b^2 - a^2} \quad \text{siendo: } \eta = \frac{b}{a} \quad \text{queda: } \sigma_a = \frac{p_i}{\eta^2 - 1}$$

Utilizando la hipótesis de Saint-Venant (de la máxima deformación) resulta:

$$\sigma_c = \sigma_1 - \mu \cdot \sigma_2 - \mu \cdot \sigma_3$$

$$\text{Siendo: } \sigma_1 = \sigma_{\theta_{\max}} \quad \sigma_2 = \sigma_a \quad \sigma_3 = -\sigma_{r_{\max}}$$

La condición de resistencia es:

$$\sigma_c = \sigma_{\theta_{\max}} - \mu \cdot \sigma_a - \mu \cdot (-\sigma_{r_{\max}}) \leq \sigma_{\text{adm}}$$

Reemplazando las tensiones por sus expresiones y utilizando el signo "=" resulta:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{adm}} &= p_i \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} - \mu \cdot \frac{p_i}{\eta^2 - 1} - \mu \cdot (-p_i) \\ \frac{\sigma_{\text{adm}}}{p_i} &= \varphi = \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1} - \frac{\mu}{\eta^2 - 1} + \mu = \frac{\eta^2 + 1 - \mu + \mu \cdot \eta^2 - \mu}{\eta^2 - 1} = \frac{\eta^2(1 + \mu) + (1 - 2\mu)}{\eta^2 - 1} \\ \varphi \cdot (\eta^2 - 1) - \eta^2(1 + \mu) &= (1 - 2\mu) \quad \rightarrow \quad \varphi \cdot \eta^2 - \varphi - \eta^2(1 + \mu) = (1 - 2\mu) \\ \eta^2[\varphi - (1 + \mu)] &= \varphi + (1 - 2\mu) \quad \rightarrow \quad \eta^2 = \frac{\varphi + (1 - 2\mu)}{\varphi - (1 + \mu)} \end{aligned}$$

finalmente resulta:  $\boxed{\eta = \sqrt{\frac{\varphi + (1 - 2\mu)}{\varphi - (1 + \mu)}}} \quad [37]$

La expresión [37] tiene solución real solamente para  $\boxed{\varphi > (1 + \mu)}$ .

La tensión admisible debe cumplir entonces la condición:  $\boxed{\sigma_{\text{adm}} > (1 + \mu) \cdot p_i}$

El espesor de pared que se obtiene es levemente menor que si no se tienen en cuenta los fondos. Por lo tanto utilizando el criterio de Birnie (Saint-Venant sin fondos) el tubo queda sobredimensionado.

### **Aplicabilidad de las distintas hipótesis de falla:**

Si la presión en un cilindro de pared gruesa se aplica estáticamente (ya que una carga repetida puede conducir a rotura por fatiga) pueden establecerse las siguientes conclusiones:

Para material frágil (con rotura por fractura frágil: acero de alto carbono, hierro fundido, aluminio fundido, etc.): en este caso las deformaciones son esencialmente elásticas hasta la fractura, por lo que la hipótesis de falla más adecuada es la de Rankine (máxima tensión principal).

Para material dúctil (en el caso en que se deba considerar la falla funcional por el inicio de las deformaciones plásticas en los puntos de mayor tensión: acero de bajo contenido de carbono, latón, bronce, aleación de aluminio, etc.): la hipótesis más conveniente es la de Guest (máxima tensión tangencial) o la de la máxima energía de distorsión (Huber).



Para material dúctil (falla por fluencia generalizada o plastificación generalizada de una gran parte de la pared del tubo): en este caso no pueden aplicarse ninguna de las teorías de la falla, pues ellas predicen el comienzo de las deformaciones plásticas. La deformación anelástica generalizada va acompañada de una redistribución de las tensiones, cosa que aumenta la capacidad del tubo para resistir presión, la que será considerablemente mayor que la presión con la que se inicia la deformación anelástica.

En ese caso es necesario efectuar un análisis de las tensiones considerando el proceso de las deformaciones anelásticas en toda la pared del tubo, cuestión que se analiza al final del presente tema.

#### Comparación de resultados con diferentes Hipótesis de falla.

Los resultados que se obtienen por la aplicación de las distintas hipótesis de falla, pueden graficarse con fines comparativos representando la relación  $\eta=b/a$  en función de  $\varphi=\sigma_{adm}/p_i$ .

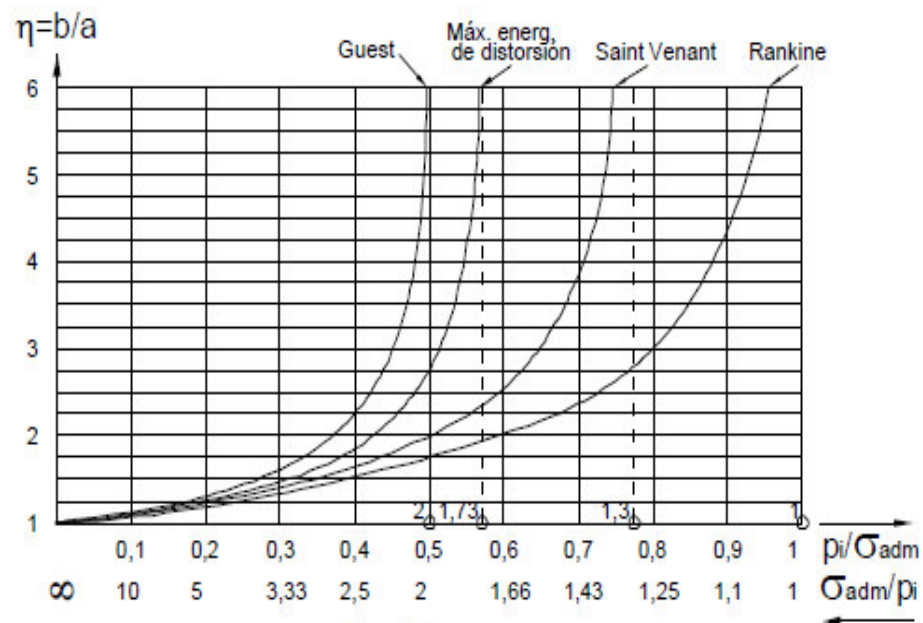


fig.16

Para cada una de las hipótesis de falla, estas curvas permiten por un lado visualizar el valor de la presión interior que soportará en condiciones de seguridad un tubo de pared gruesa de material y dimensiones conocidas, como así también visualizar los valores de las dimensiones necesarias para que no sea sobrepasada la tensión admisible, cuando se conoce la presión interior.

Del análisis de las mismas se obtienen las conclusiones siguientes:

- Al dimensionar un tubo sometido a presión interior teniendo a  $\varphi=\sigma_{adm}/p_i$  como dato, con la teoría de Guest (máxima tensión de corte) se obtienen los mayores espesores de pared del tubo, mientras que con la de hipótesis de Rankine se obtienen los menores espesores.
- Al verificar un tubo de dimensiones conocidas (dato  $\eta=b/a$ ), la presión " $p_i$ " que se puede aplicar, será máxima para los tubos cuyo material determinó su cálculo por medio de la hipótesis de Rankine, mientras que resultará mínima si el material determinó su cálculo por medio de la hipótesis Guest (máxima tensión de corte).

Observación conceptual: La elección de una determinada hipótesis de falla, no se efectúa en función del mayor o menor rendimiento (economía de material) que se logra con cada una de

ellas, sino en función del material a emplear en la construcción del tubo, de acuerdo al uso para el que se destinará.

### **Tensiones de trabajo en tubos de pared gruesa.**

Comentarios extraídos de A. Wallace, "Cálculo de Elementos de Máquinas"

#### **Para acero dúctil:**

En los tubos de pared gruesa simples sometidos a presión interior, como así también en los tubos compuestos que luego se analizarán, la máxima tensión circunferencial se presenta en la superficie interna del tubo.

En consecuencia las sobre tensiones momentáneas no son tan serias como en otros elementos de máquinas, puesto que el material en la superficie interna puede fluir ligeramente y reajustar la distribución de tensiones sin que se produzca la falla.

Por lo tanto es posible adoptar tensiones de trabajo relativamente altas, y si no existen cargas de impacto, se considera satisfactorio adoptar un 85% de la tensión de fluencia.

#### **Para hierro fundido:**

Los tubos de pared gruesa de hierro fundido o de acero colado, están propensos a tener defectos de fundición y a ser menos seguros que los tubos de pared delgada.

Es por eso que para los cilindros fundidos es conveniente adoptar tensiones admisibles lo mas altas posibles, a fin de obtener mejores piezas fundidas por resultar menos gruesa su pared, no siendo conveniente diseñarlos con espesor mayor al estrictamente necesario.

## ANEXO 10: PROPIEDADES MECANICAS DE ALGUNAS ALEACIONES DE HIERRO Y ACERO

TABLA C-7		PROPIEDADES DE MECANICAS DE ALGUNAS ALEACIONES DE HIERRO FUNDIDO						
		Datos de diversas fuentes , valores aproximados consultar a los fabricantes de los materiales para informacion mas precisa						
ALEACION DE	Estado	Limite elastico a la tension (convencional al 2 %)		Resistencia maxima a la Tension		Resistencia a la Compresion		Dureza
HIERRO FUNDIDO		kpsi	Mpa	kpsi	Mpa	kpsi	Mpa	Brinell HB
Fundicion de hierro gris clase 20	Tal y cual como se fundio			22	152	83	572	154
Fundicion de hierro gris clase 30	Tal y cual como se fundio			32	220	109	752	210
Fundicion de hierro gris clase 40	Tal y cual como se fundio			42	290	140	965	235
Fundicion de hierro gris clase 50	Tal y cual como se fundio			52	359	164	1131	262
Fundicion de hierro gris clase 60	Tal y cual como se fundio			62	427	187	1289	302
Hierro ductil 60 40 18	recocido	47	324	65	448	52	359	160
Hierro ductil 65 45 12	recocido	48	331	67	442	53	362	174
<b>Hierro ductil 80 55 06</b>	<b>recocido</b>	<b>53</b>	<b>365</b>	<b>82</b>	<b>565</b>	<b>56</b>	<b>386</b>	<b>228</b>
Hierro ductil 130 90 02 24	revenido y templado	120	827	140	965	13.4	524	325
Properties of some metals and alloys, International nickel Co inc ,N.Y Metals Hand book, American Society for metals materials Park Ohio.								

## ANEXO 11: PETS DE OPERACION

	<b>PETS DE OPERACIÓN</b> <b>DE SCAMPANEADO DE CHIMENEAS RB</b> <b>UTILIZANDO DISPOSITIVO LANZADOR DE</b> <b>BALA EXPLOSIVA</b>		<b>UNIDAD</b> <b>MINERA</b> <b>HUANZALÁ</b>
	División: Mina / Área: Mina	Versión: 03	
	Código: SGI-CO-PO-MIN-MI-34	Página: 3	

### 1. PERSONAL:

- 1.1 Ingeniero responsable
- 1.2 Disparador
- 1.3 Ayudante disparador
- 1.4 Operador Anfotruck
- 1.5 Ayudante de operador Anfotruck

### 2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

- 2.1 Casco protector con barbiquejo
- 2.2 Lentes de seguridad
- 2.3 Tapones auditivos y auriculares
- 2.4 Respirador
- 2.5 Botas de jebe con punta de acero
- 2.6 Guantes de cuero y de jebe
- 2.7 Correa de seguridad
- 2.8 Lámpara minera
- 2.9 Lámpara halógena
- 2.10 Mameluco con cintas reflectivas

### 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES:

- 3.1 Anfotruck
- 3.2 Dispositivo lanzador de bala explosiva
- 3.3 Bala explosiva
- 3.4 Anfo
- 3.5 Faneles
- 3.6 Guías armadas
- 3.7 Arcilla
- 3.8 Aserrín de Madera seco
- 3.9 Petróleo
- 3.10 Grasa
- 3.11 Papel de bolsas de cemento
- 3.12 Picos y lampas
- 3.13 Barretillas de 6 pies
- 3.14 Soga de nylon de media pulgada
- 3.15 Flexómetro de 5.0 m
- 3.16 Atacadores de madera





### 4. PROCEDIMIENTO:



- 4.1 Recepcionar la orden de trabajo, cerciorarse de la claridad de la orden, ir al lugar de ubicación donde se realizara el descampaneo e inspeccionar minuciosamente toda el área circundante
- 4.2 Realizar TPM del equipo Anfotruck
- 4.3 Trasladarse con el equipo al lugar de trabajo e inspeccionar la labor haciendo uso del Formato IPERC de Campo.
- 4.4 Realizar un minucioso desatado del área específica de trabajo, sin exponerse debajo de la chimenea y limpiar el material que se haya soltado.
- 4.5 Hacer un reconocimiento de posibles obstáculos en el área circundante del punto específico de trabajo, si existieran estos elementos eliminar cualquier objeto, material etc. que obstaculice el normal desenvolvimiento de la tarea a realizar. ( si hubieran instalaciones eléctricas y/o mangas de ventilación, servicios agua – aire ,proteger o desacoplar)
- 4.6 Cerrar el acceso al área de trabajo a personal ajeno, colocando cintas de seguridad.
- 4.7 Colocar el dispositivo lanzador de bala explosiva tendido en el suelo para su carguío a una distancia no menor a 10 metros de la chimenea.
- 4.8 Realizar la colocación del taco de arcilla en la zona marcada del dispositivo lanzador , utilizando papel de bolsa de cemento como tapón inicial y luego arcilla luego papel al llegar a la medida fijada, Utilizar un atacador de madera para confinar adecuadamente el material de arcilla que servirá como taco, utilizar el Flexometro para verificar las medidas exactas.
- 4.9 Realizar el posicionamiento del dispositivo lanzador de bala, utilizando el Anfotruck para levantarlo desde la zona donde se colocó el taco hasta el punto específico de disparo, se evitara que el personal se exponga al pie de la chimenea el mínimo tiempo posible, se le dará el Angulo al dispositivo moviendo el Bipie y se asegura colocándole la sogá necesaria amarrando este con el pie del dispositivo.
- 4.10 El operador del Anfotruck debe de retirar inmediatamente su equipo una vez posicionado el dispositivo lanzador de bala explosiva, hacia una cámara segura.
- 4.11 Realizar la manipulación del explosivo (Anfo) cumpliendo el procedimiento específico tocante a este (Código: SGI-CO-PO-MIN-MI-17 - Código: SGI-CO-PO-MIN-MI-18) La combinación del Aserrin de madera con el Anfo y petróleo se debe de hacer considerándolos como elementos explosivos, realizándolo dentro de una bolsa plástica.
- 4.12 El carguío con Anfo de la bala, debe de hacerse con sumo cuidado, a una distancia no menor de 50 m de la zona específica de trabajo debido que esta quedara cebada al ser llena de explosivo, por lo cual una vez realizado ello debe de guardarse en ese lugar, hasta el preciso momento que se debe de colocar la bala en el dispositivo lanzador; es decir cuando este ya está posicionado al pie de la chimenea.
- 4.13 La carga impulsora de la bala que va dentro del dispositivo lanzador, se hará con un molde de papel simulando el diámetro interno de este, será cebado este molde y al igual que la bala debe de realizarse esta operación a una distancia no menor de 50 m de la zona específica de trabajo y quedara allí hasta el momento del carguío estando el dispositivo posicionado al pie de la chimenea.
- 4.14 El carguío de la carga impulsora de la bala en el dispositivo lanzador, se hace por la boca de este, estando posicionado, se utiliza un atacador de madera y a la carga se le debe de colocar levemente una capa de grasa para que descienda esta con facilidad, se le añadirá papel para confinarla

bien en el fondo, luego se introduce la bala explosiva de la misma manera , habiéndosele puesto también esa película de grasa en su periferia, se debe de evitar lastimar los faneles que salen por la boca del dispositivo al momento de hacer esta operación.

- 4.15** El jefe de guardia, en caso de presentarse algún incidente, deberá realizar la investigación correspondiente según SGI-CO-PG-13 y presentar el informe a la División de Seguridad, Salud Ocupacional y Asuntos Ambientales.
- 4.16** Si se presentase labores, maquinas o actividades con alto peligro de riesgo paralizarlas según SGSSO-CO-RT-SSA-SE-01.
- 4.17** Realizar un uso adecuado del agua según SGI-CO-PO-SSA-AA-06.
- 4.18** REGISTROS:
- 4.19** SGI-CO-F-MIN-MI-19 Reporte de desatado de rocas.
- 4.20** Formato IPER C de Campo
- 4.21** ANEXOS:
- 4.22** SGI-CO-PG-13 Investigación de incidentes.
- 4.23** SGI-CO-PO-MIN-MI-07 Desatado de rocas empleando barretillas de 5, 8, 10 y 12 pies
- 4.24** SGI-CO-PO-SSA-AA-01 Manejo de Residuos Sólidos.
- 4.25** SGI-CO-PO-SSA-AA-06 Manejo de agua.
- 4.26** SGSSO-CO-RT-MIN-MI-01 Uso de lámparas mineras
- 4.27** SGSSO-CO-RT-MIN-MI-02 Ingreso, permanencia y salida de interior mina
- 4.28** SGSSO-CO-RT-SSA-SE-01 Paralizar labores, maquinas o actividades con alto peligro o riesgo.
- 4.29** SGSSO-CO-RT-SSA-SE-03 Acciones en caso de ocurrencia de incidentes a las personas.
- 4.30** SGSSO-CO-RT-SSA-SE-07 Transito subterráneo de equipo liviano y pesado.
- 4.31** SGSSO-CO-RT-SSA-SE-08 Uso de los equipos de protección personal.
- 4.32** RESTRICCIONES:
- 4.33** No aplican.

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES: ING. MARCO QUISPE M. FECHA DE ELABORACIÓN: 29/09/2011	RESIDENTE COMINCO: ING. ABEL YALICO V.	JEFE DEL AREA DE SEGURIDAD: ING. HECTOR LOPEZ M.	GERENTE OPERACIONES: ING. LUIS CARBAJAL L.  FECHA DE APROBACIÓN: 01/10/2011

**ANEXO 12: MATERIALES PRODUCTO DEL DESATORO DE LA  
CHIMENEA C- 200 UIDAD HUANZALA**



**ANEXO 13:** Fotografía de participación de trabajadores en pruebas de Descampaneo de la chimenea C - 200





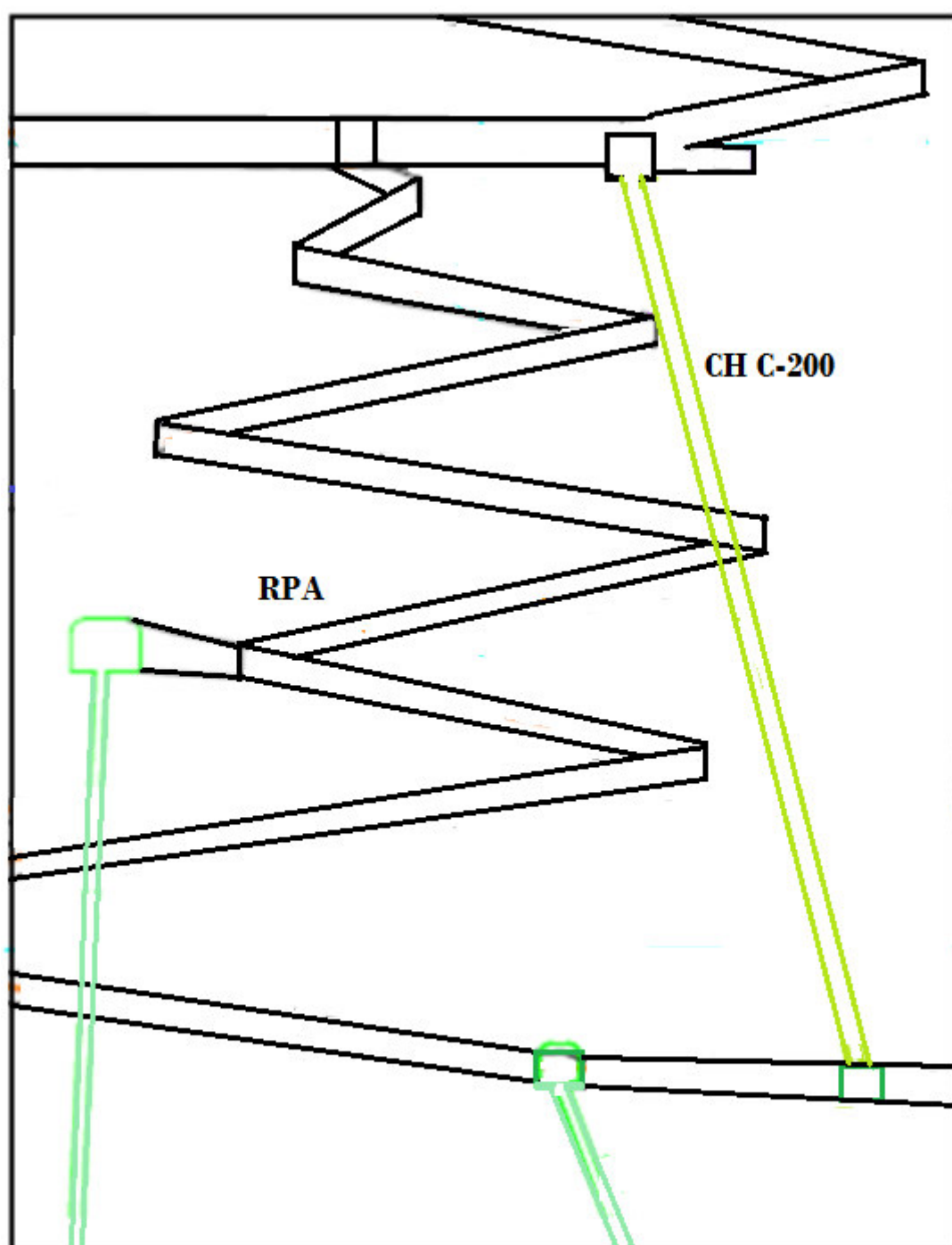


#### ANEXO14: PLANOS

PLANO 1 : Chimenea C – 200 Unidad Huanzala

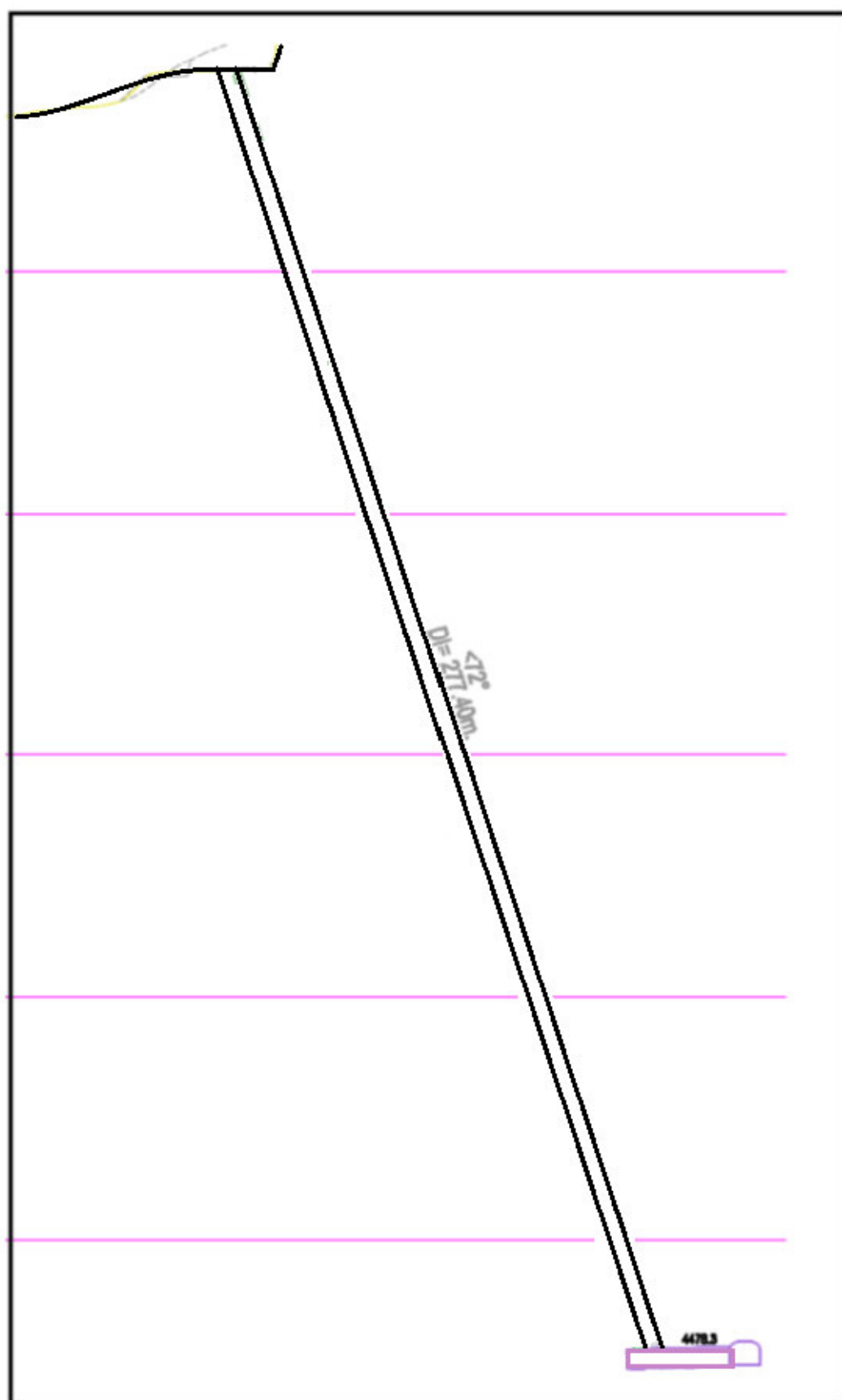
PLANO 2 : Chimenea 1350 Unidad Palca

PLANO 3: Chimenea 4740 Unidad Palca



**PLANO 1 CHIMENEA C 200 UNIDAD HUANZALA**





**PLANO 3 CHIMENEA 4740 UNIDAD PALLCA**

